

Aus der Chirurgischen Klinik mit Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. F. P. Gall

Veränderungen der Lungenfunktionen und der Blutgaswerte vor und nach Herzschritmacherimplantation

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von
Hanspeter Kubin
aus Erlangen

1984



Aus der Chirurgischen Klinik mit Poliklinik
der Universität Erlangen - Nürnberg

Direktor: Professor Dr. F. P. Gall

Veränderungen der Lungenfunktionen und der Blutgaswerte vor und nach Herzschrittmacherimplantation

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Hanspeter Kubin
aus Erlangen

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg

Dekan: Prof. Dr. F. Wolf
Referent: Prof. Dr. R. Leutschaff
Korreferent: Prof. Dr. F.P. Gall

Tag der mündlichen Prüfung: 23.01.1984

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Problemstellung	1
II. Patientengut und Untersuchungsmethoden	2
1. Beschreibung des Krankengutes	2
a) Definition des Untersuchungskollektives	2
b) Einweisungsdiagnosen vor der Schrittmacherimplantation	4
2. Angaben zur Operation	6
a) Verwendete Schrittmachertypen	6
b) Lokalisation des Herzschrittmachers	7
3. Methodik der Lungenfunktionsprüfung	9
a) Spirometrie	9
b) Ganzkörperplethysmographie	10
c) Blutgasanalyse	13
III. Auswertung der Untersuchungsergebnisse	14
1. Statistische Untersuchungen am Gesamtkollektiv	14
a) Veränderungen hinsichtlich statischer Lungenfunktionsgrößen	14
b) Veränderungen hinsichtlich dynamischer Lungenfunktionsgrößen	19
c) Veränderungen hinsichtlich respiratorischer Störungen	28
d) Veränderungen im Säure-Basen-Haushalt	35
2. Vergleichende statistische Untersuchungen an Untergruppen	43
a) Aufteilung nach Elektrodenlokalisierung	43
b) Aufteilung nach Indikationsgruppen	44
c) Aufteilung nach dem Geschlecht	47
3. Einzelbeobachtungen	51
a) Veränderungen hinsichtlich der Sauerstoffaufnahme bei vier Patienten	51

b) Sechs Fälle mit vorhofgesteuertem Herzschríttmacher	56
IV. Diskussion der Ergebnisse	60
V. Zusammenfassung	68
Zusammenstellung der verwendeten Signi- fikanztests	70
Literaturverzeichnis	74

I. Problemstellung

Im Jahr 1958 wurde durch Senning und Elmquist erstmals ein permanenter elektrischer Herzschrittmacher implantiert (21). Heute gibt es in der Bundesrepublik Deutschland nach Schätzungen bereits über 200 000 Patienten, deren Herzfunktion durch einen künstlichen Schrittmacher unterstützt oder aufrechterhalten wird (23,47). Die große Bedeutung dieser Geräte zur Therapie verschiedener Reizleitungsstörungen des Herzens ist unbestreitbar. Bei postoperativen Kontrollen sind schon öfter an kleineren Untersuchungskollektiven Lungenfunktionsprüfungen durchgeführt worden. Beispielsweise befaßt sich eine Untersuchung von Eimer und Witte (13) mit der Leistungsbreite bei 12 Patienten mit festfrequenten Herzschrittmachern. Ein weiterer Beitrag zur Beurteilung der körperlichen Belastbarkeit von Schrittmacherpatienten kommt von Schmid und Klein (43), die zu diesem Zweck eine Gruppe von 20 Patienten mit ventrikelgesteuerten Pacemakern am Ergometer getestet haben.

Im Unterschied zu diesen Untersuchungen beschäftigt sich die vorliegende Auswertung mit Daten, die sowohl vor als auch nach der Schrittmacherimplantation erhoben worden sind und dadurch einen Vergleich zwischen prä- und postoperativer Lungenfunktion gestatten. Mit den Werten der Blutgasanalyse wurde ebenso verfahren. Diese Arbeit geht von der Frage aus, ob ein Zusammenhang zwischen Lungenfunktion und Herzschrittmacher besteht und gegebenenfalls wodurch Veränderungen bewirkt werden.

So soll die vergleichende Untersuchung also dazu beitragen, die Auswirkungen eines Schrittmachers auf die statischen und dynamischen Lungenfunktionsparameter sowie auf den Säure-Basen-Haushalt des Blutes aufzuzeigen und kritisch zu beleuchten.



II. Patientengut und Untersuchungsmethoden

1. Beschreibung des Krankengutes

a) Definition des Untersuchungskollektives

Zwischen 1965 und 1980 wurden von der Chirurgischen Universitätsklinik Erlangen 1784 Herzschrittmacher-Patienten betreut. 1722 davon bekamen ihren Schrittmacher in Erlangen implantiert, die Übrigen sind in der hiesigen Klinik nur zur Schrittmacher-Kontrolle oder aber zum Wechsel des Gerätes gewesen.

Bei 351 Patienten ist eine vollständige Untersuchung der Lungenfunktion und der Blutgase vor Schrittmacher-Implantation erfolgt, so daß diese Gruppe für die Nachuntersuchung in Frage kam. In der Zeit von Anfang Januar 1981 bis Ende Dezember 1981 sind 174 Patienten nachuntersucht worden. Diese Gruppe steht für die weiteren Auswertungen zur Verfügung.

Von denjenigen Patienten, die nicht zur Nachuntersuchung erschienen sind, waren 21 Fälle durch technische oder persönliche Gründe verhindert. Bei neun Schrittmacherträgern ließ ihre schlechte körperliche Verfassung, die in keinem Fall primär kardial verursacht war, eine Nachuntersuchung nicht zu (z.B. Querschnittslähmung, Epilepsie, Zustand nach Apoplexie). 16 Patienten sind zwischenzeitlich gestorben. Von den restlichen, nicht nachuntersuchten Fällen konnte kein Grund in Erfahrung gebracht werden, allerdings dürften die obengenannten Hinderungsursachen auch für diesen Personenkreis zutreffen. Das Patientengut, auf dem die Auswertung basiert, ist nicht durch bestimmte Ausschlußkriterien selektiert. Doch muß berücksichtigt werden, daß durch hohes Alter, Gebrechlichkeit oder Tod der Schrittmacherträger eine gewisse Vorauswahl des Krankengutes wahrscheinlich ist.

Die 174 Fälle des Untersuchungskollektives entsprechen 10,1 % aller in Erlangen implantierten Herzschrittmacher (Tab. 1). Davon sind 106 Personen oder 60,9 % Männer und 68 Fälle bzw. 39,1 % Frauen. Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Schrittmacherimplantation beträgt 61 1/2 Jahre, wobei der jüngste Patient 22, der älteste 82 Jahre alt ist.

Tab. 1 Schrittmacherpatienten der Chirurgischen Universitätsklinik Erlangen 1965 - 1980

insgesamt 1784 SM-Patienten betreut,
davon 1722 SM-Implantationen in Erlangen durchgeführt,
davon 174 Fälle in die vorliegende Auswertung aufgenommen.

(SM = Schrittmacher)

b) Einweisungsdiagnosen vor der Schrittmacherimplantation

Die Diagnosen, die zur Einweisung in die Chirurgische Klinik geführt haben, sind vielfältig (Tab. 2). Pro Patient werden durchschnittlich zwei Einweisungsdiagnosen angegeben; dabei kann man trennen zwischen den primären Indikationen zur Schrittmacherimplantation und denjenigen Einweisungsursachen, die erst sekundär zu einer Versorgung mit Herz-SM (Herz-Schrittmacher) geführt haben. Für die zweite Gruppe sind vor allem Herzfehleroperationen und Gefäßerkrankungen, insbesondere der Koronarien, zu nennen.

In der Literatur werden eine Vielzahl von Indikationsklassifizierungen für die Schrittmachertherapie angegeben (10,15,16,17,23,27,29,35,40,42,54). Als Hauptdiagnosen stehen in unserem Untersuchungsgut nach der Reihenfolge ihrer Häufigkeit AV-Blöcke, das Sinusknotensyndrom im weiteren Sinn, das hypersensitive Carotissinus-Syndrom HCSS und Bradyarrhythmien. Daneben führen auch oft Adams-Stokes-Anfälle allein oder in Verbindung mit anderen Diagnosen zur Klinik-einweisung (51,7 %).

AV-Blöcke, die in knapp der Hälfte aller Fälle (48,3 %) Ursache der Klinikaufnahme sind, können nach ihrem Schweregrad klassifiziert werden. Dabei fällt auf, daß am häufigsten ein AV-Block I⁰ mit bifas-zikulärem Block (26,4 %), gefolgt vom AV-Block III⁰ (12,1 %) als Einweisungsdiagnose genannt werden. Seltener treten intermittierende oder in ihrem Schweregrad wechselnde Blöcke oder ein AV-Block II⁰ auf.

Unter dem Sinusknotensyndrom sind im wesentlichen zwei Diagnosen von Bedeutung: das Sinusknotensyndrom im engeren Sinn (Sick sinus node syndrome) (22,4 %) und die Sinusbradykardie (11,5 %). Das relativ seltene

Tab. 2 Einweisungsdiagnosen vor SM-Implantation

	Fallzahl	bezogen auf 174 Fälle
AV-BLOCK gesamt	84	48,3 %
bezogen auf 84 Fälle : 25,0 % AV-Block III ⁰	21	12,1 %
7,1 % AV-Block II ⁰	6	3,4 %
54,8 % AV-Block I ⁰ , bifas- zikulärer Block	46	26,4 %
13,1 % AV-Block: intermit- tierend oder wechselnden Grades	11	6,3 %
SINUSKNOTEN-SYNDROM gesamt	60	34,5 %
bezogen auf 60 Fälle : 65,0 % Sinusknotensyndrom im engeren Sinne	39	22,4 %
- Sinuatrialer Block	-	-
1,7 % Tachykardie-Brady- kardie-Syndrom	1	0,6 %
33,3 % Sinusbradykardie	20	11,5 %
BRADYARRHYTHMIEN	32	18,4 %
CAROTISSINUS-SYNDROM	50	28,7 %
HERZMUSKELERKRANKUNGEN	2	1,1 %
ADAMS-STOKES-ANFÄLLE	90	51,7 %
HERZINSUFFIZIENZ	4	2,3 %
HERZFEHLER-OPERATIONEN	18	10,3 %
GEFÄßSERKRANKUNGEN	9	5,2 %
SEKUNDÄRE EINWEISUNGSDIAGNOSEN (Diabetes mellitus)	2	1,1 %
	351	201,6 %

Anmerkung: Die Summe der Fälle liegt über 174 bzw.
die Summe der Prozentzahlen über 100 %, da pro Patient mehrere Einweisungsdiagnosen in die Zählung aufgenommen worden sind.

Tachykardie-Bradykardie-Syndrom hat nur in einem Fall unseres Patientenkollektives zu einer SM-Implantation geführt.

Während das hypersensitive Carotissinus-Syndrom in 28,7 % auftritt und bradykarde Rhythmusstörungen immerhin noch 18,4 % der Einweisungsdiagnosen ausmachen, gibt es eine Reihe seltener Ursachen einer SM-Implantation. Darunter sind zu zählen: Operationen am Herzen zur Korrektur angeborener oder erworbener Herzfehler, wie Septumdefekte oder Klappenvitien. Hier kommt es konsekutiv zu einer Beeinträchtigung des Reizleitungssystems und zur Ausbildung eines AV-Blockes; weiterhin sind Bypass-Operationen bei KHK (Koronarinsuffizienz) zu nennen, sowie Kardiomyopathien und Herzinsuffizienz. Diese seltenen Diagnosen werden insgesamt lediglich in 18,9 % der Fälle festgestellt und außerdem oft nur in Kombination mit einer für die Implantation wichtigeren Einweisungsdiagnose.

Die N a c h u n t e r s u c h u n g war bei zehn Patienten gleichzeitig mit einem SM-Wechsel wegen Batteriealterung verbunden. Für die anderen 164 Schrittmacherträger hatte die Nachuntersuchung die Bedeutung einer reinen SM-Kontrolle.

2. Angaben zur Operation

a) Verwendete Schrittmachertypen

Von den 174 SM-Patienten erhielten 168 Personen einen Demand-Herzschrittmacher. Diese sog. Bedarfsschrittmacher basieren nach Rosenkranz (37) "auf dem Prinzip der Impulsunterdrückung, d.h. der Generator wird über die im Ventrikel liegende Elektrode durch das Potential der R-Zacke der Eigenaktionen so lange inhibiert, wie (bei den meisten Fabrikaten) deren

Frequenz über 70/Min. liegt." Mit 96,5 % liegt die Zahl in unserem Untersuchungsgut etwas höher als die in der Literatur angegebene Häufigkeit für Bedarfsschrittmacher von 91 % (48). Bei 18 Fällen aus dieser Gruppe wurde ein programmierbarer Demand-SM implantiert, ein Gerät mit extern variierbarer Grundfrequenz und Impulsstromstärke (17). In sechs Fällen fand ein vorhofgesteuerter SM Anwendung; das entspricht einer relativen Häufigkeit von 3,5 %. Das Verhalten der Lungenfunktionen bei dieser Patientengruppe wird unter Punkt III 3 b gesondert betrachtet.

Zur Stromversorgung dienen fast ausschließlich Lithiumbatterien, deren Betriebszeit etwa neun Jahre umfassen soll (22,31).

b) Lokalisation des Herzschrittmachers

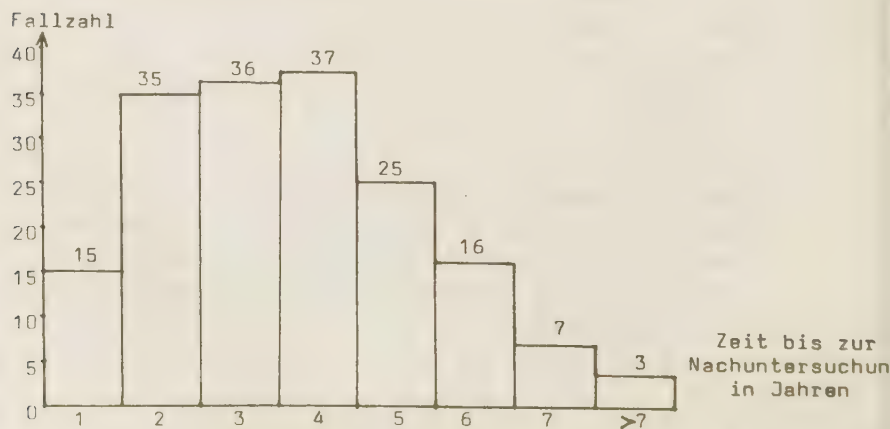
Die Angaben dieses Abschnittes beziehen sich stets auf das erstimplantierte Gerät, auch wenn bei späteren Kontrollen eine Korrektur der Elektroden- oder Batterielokalisation erforderlich wurde. Solche Revisionen mußten bei 50 Fällen (28,7 %) zwischen Implantation und Nachuntersuchung vorgenommen werden und zwar bei 31 Patienten einmal, bei 11 zweimal und bei 8 dreimal. Dabei war meist ein SM-Wechsel aufgrund vorzeitiger Alterung der Batterie nötig. Die Elektroden sind bei 124 Patienten (71,3 %) transvenös im rechten Ventrikel platziert worden, in 50 Fällen (28,7 %) epikardial-myokardial dem Herzen aufgenäht.

Das Batteriegehäuse liegt in der Überwiegenden Zahl der Fälle in einer Tasche hinter dem linken Musculus pectoralis major (69 %) oder dem linken Musculus rectus abdominis (28 %). Eine rechtsseitige Implantation erfolgte selten.

Um die Auswirkungen des Herzschrittmachers auf die Lungenfunktionen beurteilen zu können, ist auch der zeitliche Abstand zwischen den diagnostischen Untersuchungen und dem Operationszeitpunkt von Bedeutung. So erhielten 60,3 % der Patienten ihren SM noch am Tag der Voruntersuchung oder am darauffolgenden Tag implantiert. Erweitert man die Spanne auf eine Woche zwischen Voruntersuchung und Operation, erfaßt man bereits über 90 % der Fälle. Während also nur kurze Zeit zwischen präoperativer Untersuchung und Implantation verstrichen ist, hat die Zeit bis zur postoperativen Untersuchung im Mittel 3 Jahre 2 Monate betragen.

Die früheste Nachuntersuchung ist nach einem Monat durchgeführt worden, die späteste nach gut neun Jahren (Abb. 1). Der Abstand von etwa drei Jahren zur SM-Erstimplantation erweist sich aus zwei Gründen als günstig. Zum einen ist er ausreichend lange, um annehmen zu können, daß sich der Organismus der SM-Träger auf das Gerät eingestellt hat, zum anderen ist die Zeit doch wiederum nicht so lange, daß durch den physiologischen Alterungsprozeß eine stärkere Beeinträchtigung der Organfunktionen, insbesondere der Lunge und des Herzens erwogen werden muß.

Abb. 1 Zeitlicher Abstand zwischen SM-Implantation und Nachuntersuchung



3. Methodik der Lungenfunktionsprüfung

a) Spirometrie

Das Programm der Lungenfunktionsprüfung, wie es in der Abteilung für kardiopulmonologische Funktionsdiagnostik der Chirurgischen Universitätsklinik Erlangen durchgeführt wird, beinhaltet für jeden Patienten zunächst eine Testung der Spirometrie, die an dem geschlossenen Glockenspirometer Spirotest I der Firma Erich Jaeger, Würzburg, durchgeführt wird. Dabei werden folgende Größen gemessen (19):

Vitalkapazität VK: Maximales Luftvolumen, das nach einer maximalen Expiration durch größte Anstrengung eingeatmet werden kann.

Expiratorisches Reservevolumen ERV, Reserveluft: Maximales Luftvolumen, das nach einer normalen Expiration noch zusätzlich ausgeatmet werden kann.

Atemvolumen AV: Luftvolumen, das bei jedem Atemzug ein- und ausgeatmet wird.

Atemfrequenz f : Anzahl der Atemzüge in einer Minute bei ruhiger Atmung.

1-Sekundenwert expiratorisch FEV_1 (Forciertes Expirationsvolumen, Tiffeneau-Test): Die anschließend an eine maximale Inspiration während einer Sekunde in einer vollständigen forcierten Expiration ausgeatmete Luft.

1-Sekundenwert inspiratorisch FIV_1 : Analog dem FEV_1 die anschließend an eine maximale Expiration während einer Sekunde in einer vollständigen forcierten Inspiration eingeatmete Luft.

Inspirationsdauer: Dauer der Einatmungsphase bei ruhiger Atmung.

Expirationsdauer: Dauer der Ausatmungsphase bei ruhiger Atmung.

Sauerstoffaufnahme (nur bei Einzelfällen): Der Volumenverlust des Nachfüllgasometers am volumenstabilisierten Spirometersystem in einer Minute.

Diese Meßgrößen dienen als Grundlage für eine Reihe von Berechnungen:

Prozentuales forciertes Expirationsvolumen, relative expiratorische Sekundenkapazität: Forciertes Expirationsvolumen bezogen auf die Vitalkapazität, $FEV_1/VK \times 100 \%$.

Prozentuales forciertes Inspirationsvolumen, relative inspiratorische Sekundenkapazität: Forciertes Inspirationsvolumen bezogen auf die Vitalkapazität, $FIV_1/VK \times 100 \%$.

Atemzeitquotient AZQ: Quotient Expirationsdauer / Inspirationsdauer.

Atemminutenvolumen AMV: Das in einer Minute ventilierte Gasvolumen, das Produkt aus Atemvolumen und Atemfrequenz, $AV \times f$.

Die auf diese Weise gewonnenen Daten werden mit Normalwertetabellen verglichen und dann als Prozentzahlen der Sollwerte zur Beurteilung verwendet (1,9, 18). Durch diese Rechenprozedur können individuelle Einflüsse auf die gewonnenen Ergebnisse weitgehend nivelliert werden. Alter, Geschlecht, Körpergröße und -gewicht der Patienten werden auf diese Weise in der Auswertung berücksichtigt. Um nicht die Abhängigkeit der Lungenvolumina von der Körperlage beachten zu müssen, werden alle Untersuchungen am sitzenden Patienten durchgeführt (4).

b) Ganzkörperplethysmographie

Als zweiter Untersuchungsabschnitt folgt der Spirometrie die Diagnostik mit Hilfe des Bodyplethysmographen Siregnost FD 91 der Firma Siemens, Erlangen.

Zum Arbeits- und Meßprinzip der "Kammer" schreiben Ulmer und Mitarbeiter (52): "Die Atemluft wird zur Ermittlung der Atemstromstärke $\dot{V}$ in- und expiratorisch

durch einen Pneumotachographen geleitet. Die Druckänderungen der Kammer geben gewissermaßen ein Negativ der Alveolardruckänderungen wieder." In einem Koordinatensystem werden von dem Gerät während eines gesamten Atemzyklus auf der X-Achse der Kammerdruck und auf der Y-Achse die Atemstromstärke synchron gegeneinander aufgezeichnet. So erhält man ein Kammerdruck-Strömungsdiagramm.

Den Alveolardruck bestimmt man, indem der Atemdruck am Mundstück registriert wird, während man durch ein Ventil das Atemrohr kurzzeitig verschließt. Dadurch ergibt sich die sogenannte Verschußdruck- oder Shutter-Kurve. Die Koordinaten dieser Kurve sind die Kammerdruckänderung Δp_K auf der X-Achse und die Alveolardruckänderung Δp_A auf der Y-Achse.

Die Meßgrößen der Ganzkörperplethysmographie sind also die Atemstromstärke $\dot{V}$, die Kammerdruckänderung Δp_K und die Alveolardruckänderung Δp_A . Weiterhin werden die Vitalkapazität VK (Kammer) und die Reserve-luft ERV gemessen, sowie der atmosphärische Druck mittels eines Barometers bestimmt.

Durch diese Meßgrößen wird es möglich, folgende zur Beurteilung der Lungenfunktion wichtigen Parameter zu berechnen (19):

Resistance R, bronchialer Strömungswiderstand:

Strömungswiderstand der Luft in den Atemwegen.

Totalkapazität TK: Luftvolumen, das sich nach einer maximalen Inspiration in der Lunge befindet.

Residualvolumen RV: Luftvolumen, das sich nach einer maximalen Expiration noch in der Lunge befindet.

Der bronchiale Strömungswiderstand R stellt sich dar als Quotient der Steigungen der Verschußdruckkurve und der Kammerdruck-Strömungskurve. Es gilt folgender mathematischer Zusammenhang:

Steigung der Verschlußdruckkurve = $\Delta p_A / \Delta p_K = \operatorname{tg} \alpha$

Steigung der Kammerdruck-Strömungskurve = $\dot{V} / \Delta p_K = \operatorname{tg} \beta$

Resistance $R = \operatorname{tg} \alpha / \operatorname{tg} \beta = \Delta p_A / \dot{V}$

Der Strömungswiderstand kann also verstanden werden als die Alveolardruckänderung in Abhängigkeit von der Atemstromstärke.

Die Berechnung des Residualvolumens erfolgt über die Bestimmung des Thoraxgasvolumens IGV: Das intrathorakale Gasvolumen ist als der Luftraum in der Lunge definiert, der nach normaler Expiration noch in ihr verbleibt und physiologischerweise der funktionellen Residualkapazität FRC entspricht (53). Die FRC bezeichnet demnach dasjenige Luftvolumen, das sich bei Atemruhelage in der Lunge befindet.

Die Berechnung des intrathorakalen Gasvolumens wird durch die Alveolar- und Kammerdruckänderung Δp_A bzw.

Δp_K ermöglicht:

$$\text{IGV} = -(\Delta p_K / \Delta p_A) \times \text{Eichkonstante} \times (\text{atmosph. Druck} - 47)$$

Die Eichkonstante erhält man, indem ein definiertes Luftvolumen ΔV in die Kammer des Bodyplethysmographen gefüllt und dabei der Anstieg des Kammerdruckes Δp_K festgestellt wird. $\Delta V = \Delta p_K \times \text{Eichkonstante}$ (8).

Die funktionelle Residualkapazität ist laut Definition die Summe aus ERV und RV. Mit der Beziehung $\text{FRC} = \text{IGV}$ folgt daraus: Residualvolumen $\text{RV} = \text{IGV} - \text{ERV}$

Schließlich wird die Totalkapazität aus Vitalkapazität und Residualvolumen berechnet:

$$\text{Totalkapazität TK} = \text{VK} + \text{RV}$$

Die so erhaltenen Größen VK (Kammer), RV, TK und R der Patienten werden ähnlich wie bei der Spirometrie mit Normalwertetabellen verglichen und für die Beurteilung prozentual angegeben.

c) Blutgasanalyse

Um zusätzlich zur reinen Lungenfunktionstestung auch einen Einblick in den Säure-Basen-Haushalt der Patienten gewinnen zu können, wird als dritte Untersuchung eine Blutgasanalyse durchgeführt.

Dabei kommt das Eschweiler Blutgasanalysegerät MT (Baujahr 1978) der Firma Trolab zur Anwendung. Dieser automatisierte Apparat ermöglicht es, mit einer Mikrobloodprobe aus dem hyperämisierten Ohrläppchen des Patienten folgende kapillar-arteriellen Blutgasparameter festzustellen (8,46,52):

pH-Wert: Negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration, Maß für die Wasserstoffionenkonzentration im Blut.

Basenüberschuß BE: Maß der nicht-respiratorischen Komponente des Säure-Basen-Zustandes. BE ist definiert als die Menge der titrierbaren, nicht flüchtigen Base beim Titrieren auf einen $\text{pH} = 7,40$ mit $\text{pCO}_2 = 40 \text{ mmHg}$ und 38°C .

Pufferbase: Ebenfalls ein Maß der nicht-respiratorischen Säure-Basen-Störungen. Summe der konjugierten Basen, einschließlich der Nicht-Bikarbonat-Puffer ("äquivalente Pufferionenkonzentration").

Standard Bikarbonat: Alkalireserve. Unter Standardbedingungen an Bikarbonat gebundene CO_2 -Menge, also die Bikarbonatkonzentration der Blutprobe nach Äquilibration mit einem $\text{pCO}_2 = 40 \text{ mmHg}$.

Aktuelles Bikarbonat: Bikarbonat des Blutes bei dem tatsächlichen pCO_2 und der tatsächlichen Sauerstoffsättigung der Probe, sowie bei der momentanen Meßtemperatur.

Kohlensäurepartialdruck pCO_2 im arterialisierten Blut.
Kohlensäuregehalt des Plasmas CO_2 .

Sauerstoffpartialdruck pO_2 im arterialisierten Blut.

Für die Auswertung werden nur die wesentlichen Meßgrößen verwendet: pH-Wert, aktuelles Bikarbonat,

$p\text{CO}_2$, CO_2 und $p\text{O}_2$. Dies geschieht in Übereinstimmung mit Siegenthaler und Mitarbeitern (45): "Die von Singer und Hastings und die von Astrup angegebenen Methoden der Errechnung von 'Gesamtpufferbase' bzw. 'Basenexzeß' führen nach unserer und anderer Ansicht nicht zu einer besseren Beurteilung der Säure-Basen-Relationen als die traditionellen Methoden der Bestimmung von pH, HCO_3^- und $p\text{CO}_2$, wie sie ursprünglich von van Slyke angegeben wurden." Als Normalwerte für diese Größen können der Literatur entnommen werden (9,14,30):

pH	$7,40 \pm 0,02$	,
$p\text{CO}_2$	40 ± 3	mmHg ,
CO_2	$25,0 \pm 0,6$	mval/l ,
$p\text{O}_2$	90 ± 5	mmHg ,
Standard Bikarbonat	25 ± 2	mval/l.

III. Auswertung der Untersuchungsergebnisse

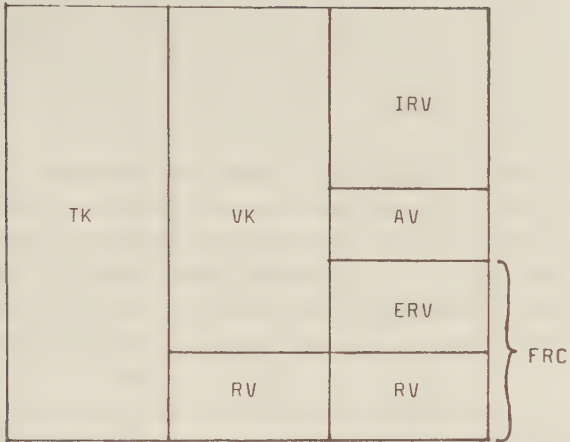
1. Statistische Untersuchungen am Gesamtkollektiv

a) Veränderungen hinsichtlich statischer Lungenfunktionsgrößen

Dieser Teil der Auswertung befaßt sich mit der Veränderung bei fünf statischen Lungenfunktionsparametern: den drei spirometrisch gemessenen Größen Vitalkapazität VK, Reserveluft ERV und Atemvolumen AV, sowie den beiden bodyplethysmographisch ermittelten Volumina Totalkapazität TK und Residualvolumen RV (Abb. 2).

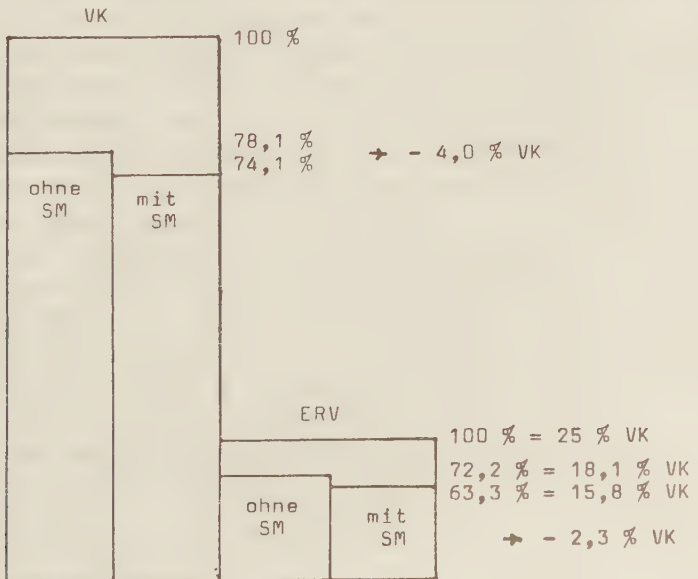
Bei der Untersuchung des expiratorischen Reservevolumens vor und nach Schrittmacheroperation, ergibt sich ein Rückgang der Mittelwerte von 72,2 % des Sollwerts bei der Voruntersuchung auf 63,3 % des Sollwerts bei der postoperativen Kontrolle. Diese Abnahme läßt sich mittels statistischer Tests als

Abb. 2 Lungenvolumina.



TK = Totkapazität IRV = Inspiratorisches Reservevolumen
 VK = Vitalkapazität AV = Atemzugvolumen
 RV = Residualvolumen FRC = Funktionelle Residualkapazität
 ERV = Expiratorisches Reservevolumen, Reserveluft

Abb. 3 Veränderung der Vitalkapazität und der Reserveluft (Erläuterung im Text)



signifikante Änderung verifizieren. Für den verwendeten T-Test ist eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % gewählt worden (Signifikanzniveau = α = 0,05). Das Ergebnis besagt, daß nach der SM-Implantation die Reserveluft deutlich kleiner wird.

Bei einem ähnlichen Vergleich der prä- und postoperativen Vitalkapazitätswerte findet man auch hier einen Rückgang der sollwertbezogenen Mittelwerte. So hat bei der Voruntersuchung die mittlere VK noch 78,1 % des Sollwerts betragen, bei der Nachuntersuchung dagegen nur noch 74,1 %. Auch diese Veränderung ist signifikant. Die VK-Abnahme bei der Nachuntersuchung deckt sich mit dem ERV-Rückgang, läßt sich aber dadurch allein nicht ausreichend erklären, wie gleich gezeigt wird. Der Normalwert der Reserveluft ist in Anlehnung an Comroe (9) als ein Viertel der Soll-Vitalkapazität festgelegt. Damit ist ein mathematischer Zusammenhang hergestellt: $ERV = 1/4 VK$. Rechnet man nun, wie es in Abbildung 3 geschehen ist, die Prozentzahlen der Reserveluft auf die der Vitalkapazität um, so erkennt man, daß der VK-Abnahme von 4,0 % nur eine ERV-Minderung um 2,3 % gegenübersteht. Wovon gehen aber die fehlenden 1,7 % ab ? Nachdem die Vitalkapazität die Summe aus Atemvolumen, expiratorischem und inspiratorischem Reservevolumen verkörpert ($VK = ERV + AV + IRV$), muß die Übrige VK-Abnahme durch einen AV- oder IRV-Rückgang verursacht werden. Zu diesem Zweck werden die Mittelwerte des Atemzugvolumens AV bei der Vor- und Nachuntersuchung miteinander verglichen. Der Mittelwert der Erstuntersuchung beträgt 489 ml, derjenige der Zweituntersuchung 485 ml. Zwar ist auch bei diesem Wertepaar eine Abnahme festzustellen, jedoch ist sie so gering - weniger als 1 % des Atemvolumens -, daß ihr keine Bedeutung zugemessen werden kann. Auch der Signifikanztest verläuft negativ.

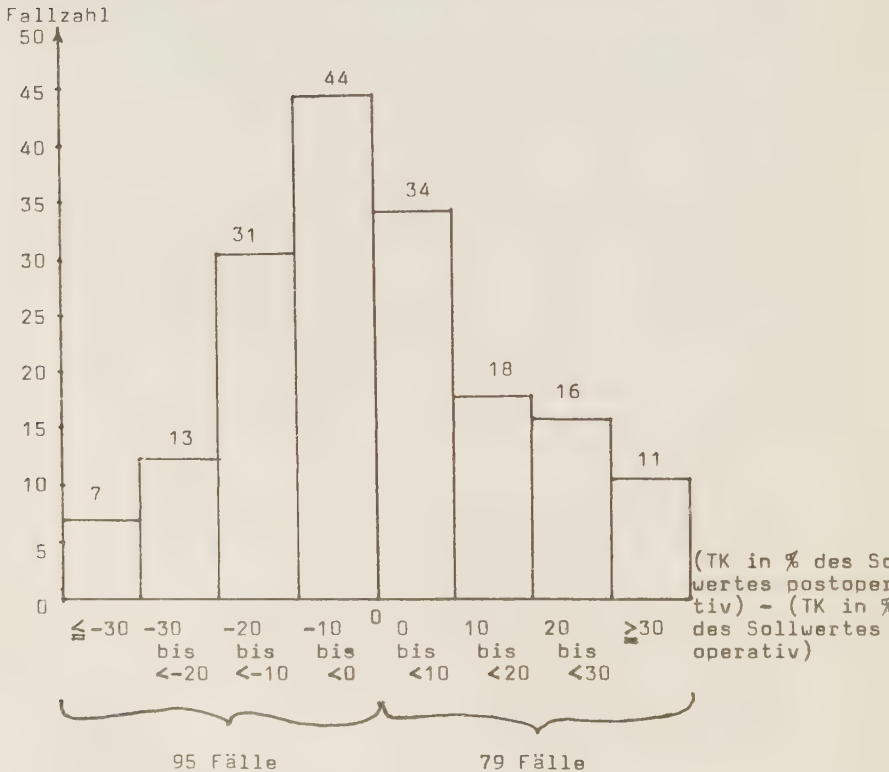
So bleibt nur ein Rückgang des inspiratorischen Reservevolumens als Begründung für den zweiten Teil der VK-Abnahme. Es läßt sich also feststellen, daß nach Schrittmacherimplantation eine Reduktion der Vitalkapazität auftritt, die in etwa gleichgewichtig zu Lasten des IRV und ERV geht. Die Vitalkapazität wird demnach anscheinend von ihren Randbereichen her eingeschränkt, während das in der Mitte liegende Atemvolumen praktisch nicht beeinträchtigt wird (Abb. 2). Inwieweit die aufgezeigten Veränderungen im Zusammenhang mit dem Schrittmacher stehen, soll erst unter Punkt IV diskutiert werden.

Die Unterschiede, die bei den bodyplethysmographisch ermittelten Größen Totalkapazität TK, Vitalkapazität VK (Kammer) und Residualvolumen RV auftreten, sind im Gegensatz zu den Ergebnissen bei der Spirometrie sehr gering. So sind alle durchgeführten Signifikanzproben negativ und damit eine ausgeprägte Abweichung der Meßwerte bei der Kammernachuntersuchung ausgeschlossen.

Trotzdem liegen einige interessante Unterschiede zwischen prä- und postoperativer Untersuchung vor. Beispielsweise verringert sich das zum jeweiligen Sollwert in Beziehung gesetzte Residualvolumen von 149,4 % auf 147,6 % bei der Kontrolluntersuchung. Man erkennt, daß der Patientenmittelwert bei Vor- und Nachuntersuchung um fast die Hälfte über dem Normalwert des RV liegt.

Auch für die berechnete Totalkapazität ist die Veränderung vor und nach SM-Implantation minimal. Die beiden Werte von 101,0 % vorher und 100,7 % nachher gestatten es, die Totalkapazität unverändert und der Norm voll entsprechend zu nennen. Ein Bild von der Ausgewogenheit der TK-Veränderung bei Vor- und Nachuntersuchung zeigt Abbildung 4: Bei 95 Patienten nimmt die Totalkapazität bezogen auf den jeweils

Abb. 4 Das Diagramm zeigt die Ergebnisse der Subtraktion der Totalkapazitäten bei Vor- und Nachuntersuchung, wobei jeder Patientenwert zunächst in Prozent des zugehörigen Sollwertes ausgedrückt worden ist. Auf diese Weise konnte in dem Diagramm Alter, Größe, Gewicht und Geschlecht der Patienten berücksichtigt werden.



gültigen Sollwert bei der Nachuntersuchung ab, während sie bei 79 Patienten zunimmt. Die Fälle im negativen Bereich deuten eine TK-Reduzierung bei der Kontrolluntersuchung an, während im positiven Bereich von einer TK-Zunahme gesprochen werden kann.

Nachdem gilt: $TK = VK + RV$ und RV vergrößert ist, ist es verständlich, daß die mit der Kammer bestimmte Vitalkapazität unter ihrem Sollwert liegen muß. Dies ist mit 77,0 % bzw. 76,5 % des Sollwertes auch der Fall.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Veränderungen der statischen Lungenfunktionsgrößen, die mit der Ganzkörperplethysmographie ermittelt worden sind, zwar eine Verbesserung nicht eindeutig beweisen können, aber zumindest eine Verschlechterungstendenz mit hoher Wahrscheinlichkeit ausschließen. Dieses Ergebnis ist angesichts eines durchschnittlichen Abstandes von über drei Jahren zwischen Voruntersuchung bzw. SM-Implantation und Nachuntersuchung jedenfalls bemerkenswert.

b) Veränderungen hinsichtlich dynamischer Lungenfunktionsgrößen

Zu den dynamischen, d.h. sich zeitlich ändernden Lungenfunktionsparametern zählt man neben Atemfrequenz f und Atemminutenvolumen AMV vor allem die absolute (FEV_1 , FIV_1) und relative expiratorische und inspiratorische 1-Sekundenkapazität. Weiterhin gehören der Atemzeitquotient AZQ und der bronchiale Strömungswiderstand R in diese Gruppe.

Der Atemzeitquotient ist definiert als der Quotient aus Expirationszeit und Inspirationszeit mit einem Normalbereich von 1 : 0,8-1,2. Vergleicht man die Patientenwerte, die bei der Voruntersuchung gefunden

worden sind, mit diesem Sollbereich, so ergibt sich für 89 Fälle (51,1 %) ein normaler AZQ, für 85 Fälle (48,9 %) dagegen ein erhöhter Wert. Bei dieser Patientengruppe ist also die Expiration gegenüber der Inspiration verlängert. Die Spannweite der gemessenen Werte reicht von 1 : 0,3 bis 1 : 1,2 bei der Erstuntersuchung. Die Atemzeitquotienten der Nachuntersuchung haben sich folgendermaßen verändert: Nun liegen 100 Fälle (57,8 %) im Normbereich und nurmehr in 71 Fällen (41,0 %) ist der AZQ größer als normal. Die Spannweite der Meßwerte bei der Nachuntersuchung beträgt 1 : 0,4 bis 1 : 1,4. Statistisch liegt eine signifikante Abnahme des Atemzeitquotienten bei der Kontrolluntersuchung nach Schrittmacherimplantation vor. Das heißt, daß es entweder zu einer Verlängerung der Inspirationszeit oder aber zu einer Verkürzung des Expiriums gekommen ist. Dieser Sachverhalt wird auch von den Mittelwerten widergespiegelt. So verändert sich der mittlere AZQ von 1 : 0,7 bei der Voruntersuchung auf postoperativ 1 : 0,8. Die nachgewiesene Normalisierung des Atemzeitquotienten ließe sich am ehesten mit dem Rückgang einer obstruktiven Ventilationsstörung in Einklang bringen (s. IV).

Die Untersuchung der Atemfrequenz ist deshalb von Bedeutung, weil sie als Resultante humoraler und nervaler Impulse Hinweise auf das Zusammenspiel der Atemregulation geben kann. Das wird verständlich, wenn man sich verdeutlicht, daß die Atemfrequenz und die Atemtiefe durch $p\text{CO}_2$, pH, $p\text{O}_2$, propriozeptive Reflexe (nach Hering und Breuer) und das zentrale Atemzentrum reguliert werden (44). Für die Ruheatemfrequenz, die üblicherweise in einem Bereich von 12 bis 18 Atemzügen pro Minute liegen soll, zeigt sich eine Abnahme der im Normalbereich liegenden Fälle. Während ursprünglich 104 Patienten (59,8 %) eine physiologische Atemfrequenz aufge-

wiesen haben, sind es bei der Nachuntersuchung nur noch 85 (48,9 %). Diese Veränderung beruht auf einer Frequenzzunahme auf über 18 Atemzüge/min bei 19 Patienten, so daß die Gruppe der tachypnoisch atmenden Probanden auf 79 Fälle (45,4 %) angewachsen ist. Dagegen ist die Zahl der Patienten, die weniger als 12/min atmeten, mit 6 % bei Vor- und Nachuntersuchung konstant geblieben. Obwohl zahlenmäßig ein beachtlicher Zuwachs der Anzahl unphysiologisch oft atmender Patienten zu verzeichnen ist, steigt der Mittelwert der Atemfrequenz nur gering von 17,4 auf 17,7 Atemzüge/min an und liegt damit auch bei der Nachuntersuchung immer noch im Normalbereich. So ist es auch nicht verwunderlich, daß die statistischen Tests den Atemfrequenzanstieg als nicht signifikant bewerten.

Nachdem Atemfrequenz und Atemtiefe, gemessen als Atemzugvolumen, individuell so eingestellt sind, daß die geringste Atemarbeit aufgebracht werden muß, um das benötigte Atemminutenvolumen aufrechtzuerhalten (34), und nach der Einzelbetrachtung von AV und f, soll nun das Produkt dieser beiden Größen, das AMV, untersucht werden.

Der Mittelwert des Atemminutenvolumens liegt, bezogen auf den jeweiligen Sollwert, mit 133 % bei der Nachuntersuchung etwas höher als mit 128 % bei der präoperativen Lungenfunktionsprüfung. Daß diese Veränderung nur so geringfügig ist, mag ihren Grund darin haben, daß die leichte Abnahme des Atemvolumens durch eine ebenfalls wenig ausgeprägte Atemfrequenzzunahme kompensiert wird.

Zur Untersuchung der relativen, auf die Vitalkapazität bezogenen Sekundenkapazitäten sind die Differenzen der Testergebnisse bei Vor- und Nachuntersuchung jeweils für den expiratorischen und den inspiratorischen Test getrennt verwendet worden.

Bei der relativen expiratorischen Sekundenkapazität tritt ein signifikanter Unterschied nicht zutage. So liegt der Mittelwert der Differenzen aus Meß- und Sollwerten für die prä- wie für die postoperative Untersuchung um Null (Erstuntersuchung: - 0,9 %, Zweituntersuchung: + 0,1 %). Das besagt, daß im Durchschnitt der Patientenwert nahezu genau dem Sollwert der relativen Sekundenkapazität entspricht und zwar sowohl ohne, als auch mit Herzschrittmacher. Der Unterschied von 1,0 % zwischen Vor- und Nachuntersuchung kann so interpretiert werden, daß der Patientenwert gegenüber dem Sollwert geringfügig zugenommen hat.

Zwei Beispiele sollen den Rechenvorgang veranschaulichen, wie er für das gesamte Kollektiv durchgeführt worden ist:

Bei einer Patientin sind folgende Werte aufgetreten:

	rel. expirat. Sekundenkapazität Patientenwert	Sollwert
Vor- Untersuchung	73,5 %	73,0 %
Nach-Untersuchung	80,2 %	73,0 %

⇒ Patientenwert minus Sollwert: Vor- U. 0,5 %
Nach-U. 7,2 %

⇒ Vergleich zwischen den Differenzen aus Vor- und Nach-U.: $7,2 \% - 0,5 \% = 6,7 \%$

Um diesen Betrag hat die sollwertbezogene Sekundenkapazität der Patientin zugenommen.

Ein anderer Patient hat diese Meßwerte gezeigt:

	rel. expirat. Sekundenkapazität Patientenwert	Sollwert
Vor- Untersuchung	48,5 %	71,5 %
Nach-Untersuchung	40,0 %	67,5 %

⇒ Patientenwert minus Sollwert: Vor- U. -23,0 %
Nach-U. -27,5 %

⇒ Vergleich zwischen den Differenzen aus Vor- und Nach-U.: $-27,5 \% - (-23,0 \%) = -4,5 \%$

Um 4,5 % hat die sollwertbezogene Sekundenkapazität dieses Patienten abgenommen.

Für die relative inspiratorische Sekundenkapazität sind die Verhältnisse zwischen Vor- und Nachuntersuchungsergebnissen ähnlich wie bei der expiratorischen Meßgröße. Auch hier liegt kein signifikanter Unterschied vor. Der sollwertbezogene präoperative Mittelwert beträgt 6,8 %, der postoperative 7,9 %. Wiederum ist ein leichter Anstieg zu verzeichnen, der – sofern diese Zunahme nicht auf einer zufälligen Schwankung der Werte beruht – eine positive Entwicklung anzeigt. Weiterhin fällt auf, daß unabhängig von der SM-Implantation die inspiratorische relative Sekundenkapazität ständig um etwa 7 % höher liegt als der Sollwert. Das heißt, daß das aus maximaler Expiration forciert in einer Sekunde eingeatmete Volumen größer ist, als das unter umgekehrten Bedingungen ausgeatmete Volumen. Die rasche Inspiration scheint den Patienten also leichter möglich zu sein, während die schnelle Expiration im Untersuchungsgut dem Normalwert entspricht. Hier zeigt sich auch in unserem Untersuchungsgut der als "Air trapping" bekannte Effekt: Bei rascher Expiration wird durch eine frühzeitige Bronchialverengung ein Teil der Luft in den Lungen zurückgehalten (12).

Betrachtet man das forcierte Expirationsvolumen einer Sekunde FEV_1 , das ist die absolute 1-Sekundenkapazität, so zeigt sich eine deutliche Abnahme bei der Nachuntersuchung. Diese Veränderung des Tiffeneau-Wertes ist als signifikant nachgewiesen worden. Der Mittelwert des FEV_1 fällt von 2124 ccm bei der Voruntersuchung um 8,1 % auf postoperativ 1953 ccm. Nachdem sich, wie oben beschrieben worden ist, die relativen Sekundenkapazitäten kaum verändert, eher etwas verbessert haben, die absolute Sekundenkapazität jedoch zurückgeht, muß die Ursache für diese Datenkonstellation in der Reduktion der Vitalkapazität gesehen werden. Dabei ist die VK-Abnahme stärker als der FEV_1 -Rückgang, weil sich anders nicht

die leichte Zunahme der relativen Sekundenkapazität erklären läßt. Die drei festgestellten Befunde - VK- und FEV_1 -Verminderung und normale relative Sekundenkapazität - sind typisch für eine Restriktion.

Als weitere dynamische Lungenfunktionsprüfung erfolgt nun die Auswertung des bodyplethysmographisch ermittelten bronchialen Strömungswiderstandes R. Zu diesem Zweck sind die 174 Fälle in vier Gruppen eingeteilt worden, je nach Schweregrad der Strömungswiderstandserhöhung. Für Werte kleiner/gleich $3,0 \text{ cmH}_2\text{O/l/sec}$ ist der Normalbereich abgegrenzt worden, bis zu $5,0 \text{ cmH}_2\text{O/l/sec}$ der Bereich der leichten Resistanceerhöhung, bis $10,0 \text{ cmH}_2\text{O/l/sec}$ derjenige für mittelschwere Störungen und darüber derjenige für schwere. Die Auswertung zeigt kaum Verschiebungen innerhalb der Klassen bei der Nachuntersuchung. Nur vier Fälle haben ihre Gruppenzugehörigkeit geändert: Dreimal hat ein Übergang von normal zu leichter Störung stattgefunden; ein Fall ist neu in die vierte Gruppe eingeordnet worden, der präoperativ eine mittelgradige Strömungswiderstandserhöhung aufwies (Tab. 3). Über 80 % der Patienten besitzen eine normale oder nur leicht erhöhte Resistance.

Tab. 3 Veränderungen der Resistance nach Schrittmacherimplantation

	Fallzahlen (Prozentangaben)	
	präoperativ	postoperativ
normaler Strömungswiderstand	75 (43,1 %)	72 (41,4 %)
leichte Erhöhung	65 (37,4 %)	68 (39,1 %)
mittelgradige Erhöhung	33 (18,9 %)	32 (18,4 %)
starke Erhöhung	1 (0,6 %)	2 (1,1 %)

Der Signifikanztest für die Strömungswiderstandsänderung ergibt, daß keine erheblichen Unterschiede

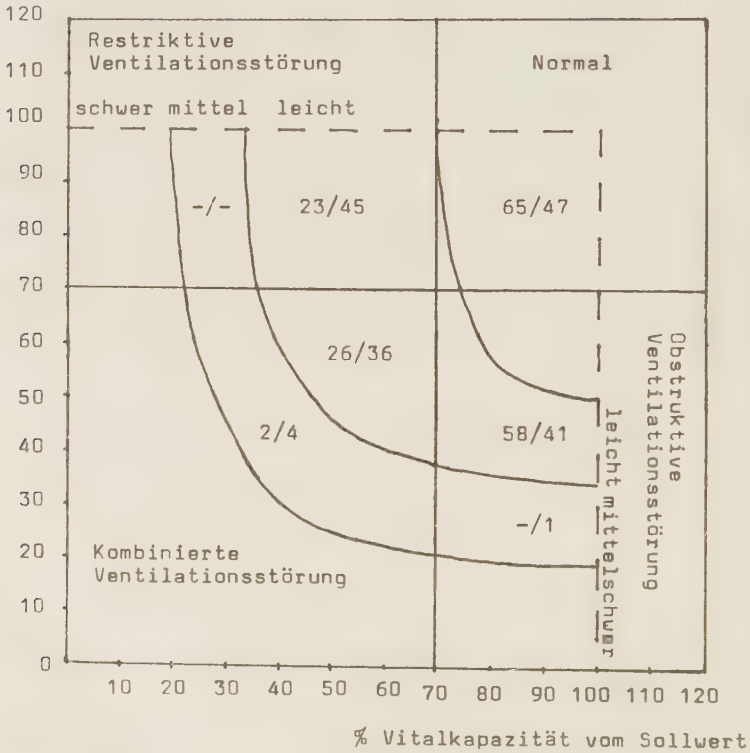
prä- und postoperativ vorliegen. Der Mittelwert bei der Nachuntersuchung ist mit 185,0 % des Sollwertes kaum geringer, als bei der Erstuntersuchung mit 187,9 %. Eine eindeutige Beeinflussung der Resistance durch den Herzschrittmacher besteht somit nicht. Da sich der bronchiale Strömungswiderstand im Laufe des Tages periodisch ändert (52), soll folgende Anmerkung gemacht werden: Die vorliegenden Untersuchungen sind in den späten Vormittagsstunden durchgeführt worden, also zur Zeit des nachgewiesenermaßen niedrigsten Strömungswiderstandes.

Aus der sollwertbezogenen Vitalkapazität und der relativen expiratorischen Sekundenkapazität ist eine Differentialdiagnose der Ventilationsstörungen möglich, die dazu dient, das Risiko von seiten der Lungenfunktion für die Durchführung von Operationen abzuschätzen. Eine graphische Darstellung der verschiedenen Arten und Schweregrade der Ventilationsstörungen gibt Abbildung 5. Um komplexere Aussagen über die Einwirkung des Herzschrittmachers auf die Ventilation machen zu können, sind die Daten der 174 Patienten in dieses Diagramm eingeordnet worden. Die Verteilung der im Untersuchungskollektiv aufgetretenen Störungen kann aus den Tabellen 4 und 5 entnommen werden. Schwere Ventilationsstörungen sind weder prä- noch postoperativ aufgetreten. Auch der Anteil an mittelgradigen Störungen ist mit 1,2 % vorher bzw. 2,9 % nachher äußerst gering.

Von den Ventilationsstörungen überwogen bei der Voruntersuchung reine Obstruktionen, bei der Nachuntersuchung dagegen reine Restriktionen. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit den obengenannten Veränderungen. Bei der postoperativen Kontrolluntersuchung zeigen drei Gruppen von Störungen etwa gleiche Stärke mit jeweils 20 - 25 % der Fälle: reine leichte Restriktion (45 Fälle), reine leichte Obstruktion (41 Fälle) und kombinierte leichte Ventilationsstörung (36 Fälle).

Abb. 5 Differentialdiagnose der Ventilationsstörungen aus VK und expiratorischer relativer 1-Sekundenkapazität bezüglich des Operationsrisikos (modif. nach H. Bartels (3)). Es sind in jeder Gruppe die Fallzahlen vor und nach SM-Implantation angegeben.

% relative Sekundenkapazität



Tab. 4 Verteilung der Ventilationsstörungen vor SM-Implantation

Art der Störung	Fallzahl	Prozentzahl
normale Ventilation	65	37,4 %
leichte Restriktion	23	13,2 %
leichte Obstruktion	58	33,3 %
leichte kombinierte Ventilationsstörung	26	14,9 %
mittelgradige kombinierte Ventilationsstörung	2	1,2 %
	174	100,0 %

Tab. 5 Verteilung der Ventilationsstörungen nach SM-Implantation

Art der Störung	Fallzahl	Prozentzahl	Veränderung gegenüber Tabelle 4
normale Ventilation	47	27,0 %	- 10,4 %
leichte Restriktion	45	25,8 %	+ 12,6 %
leichte Obstruktion	41	23,6 %	- 9,7 %
mittelgradige Obstruktion	1	0,6 %	+ 0,6 %
leichte kombinierte Ventilationsstörung	36	20,7 %	+ 5,8 %
mittelgradige kombinierte Ventilationsstörung	4	2,3 %	+ 1,1 %
	174	100,0 %	

Die Zahl der Patienten ohne Ventilationsstörungen geht von 65 Fällen (37,4 %) bei der Voruntersuchung auf 47 (27,0 %) bei der Nachuntersuchung zurück. Bei diesem Anteil von 10,4 % bzw. 18 Fällen ist in der Zeit zwischen den beiden Lungenfunktionsprüfungen eine Ventilationsstörung neu aufgetreten. Die zwei hauptsächlichen Veränderungen der Ventilation, die mit Hilfe des Schemas in Abbildung 5 festgestellt werden können, sind zum einen die Zunahme einer Restriktion leichten Grades vor allem auf Kosten des normalen Ventilationsgeschehens und zum anderen die Abnahme der reinen Obstruktionsfälle, wobei freilich ein Teil davon in leichte kombinierte Ventilationsstörungen übergegangen ist.

c) Veränderungen hinsichtlich respiratorischer Störungen

Inhalt dieses Abschnittes stellen die Veränderungen des Sauerstoffpartialdruckes pO_2 und des Kohlendioxidpartialdruckes pCO_2 dar, sowie die aus der Zusammenschau beider Parameter mögliche Beurteilung respiratorischer Insuffizienzen.

Der Mittelwert des Kohlendioxidpartialdruckes weist einen signifikanten Anstieg von 36,0 mmHg präoperativ auf 38,9 mmHg bei der Nachuntersuchung auf. Damit gelangt der erniedrigte pCO_2 in den Normalbereich von 37 bis 43 mmHg. Dieser pCO_2 -Anstieg zum Sollwert hin spricht für eine Abnahme eines hyperventilatorischen Atemverhaltens. Betrachtet man die Extremwerte des Kohlendioxidpartialdruckes, fällt eine weite Streuung auf, die sowohl vor als auch nach SM-Implantation besteht. So betragen die Minima 23,3 und 28,6 mmHg, die Maxima 49,0 sowie 48,6 mmHg. Daraus erkennt man, daß bei der Nachuntersuchung neben der Normalisierung des Mittelwertes auch eine Konzentrierung der Werte um den Sollbereich stattfindet. Die Nivellierung

extremer Werte zeigt sich vor allem im unteren Meßbereich (Abb. 6).

Der Sauerstoffpartialdruck verändert sich im Gegensatz zum $p\text{CO}_2$ nur geringfügig, so daß mit statistischen Verfahren keine Signifikanz nachweisbar ist. Der $p\text{O}_2$ -Mittelwert steigt von 72,5 mmHg auf 73,3 mmHg bei der Nachuntersuchung an. Trotz dieser Zunahme bleiben die Werte noch deutlich unter dem Normwert für $p\text{O}_2$ von 85 bis 95 mmHg. Die Extremwerte des Sauerstoffpartialdruckes liegen vor der SM-Implantation bei 46 und 118 mmHg, postoperativ bei 49 und 110 mmHg. Auch für $p\text{O}_2$ gilt also - wenngleich nicht so ausgeprägt - was schon beim $p\text{CO}_2$ festgestellt worden ist: Bei der Nachuntersuchung sammeln sich die Werte näher um den Normalbereich (Abb. 7).

Über die Veränderungen von $p\text{CO}_2$ und $p\text{O}_2$ schreiben Ulmer und Reichel (51): "Versuchsergebnisse zeigen, daß der Sauerstoffdruck des arteriellen Blutes im Verhältnis zum Kohlensäuredruck auch bei gesunden Versuchspersonen häufig zu niedrig liegt. Diese Sauerstoffdruckerniedrigung wird mit zunehmendem Lebensalter häufiger gefunden." In Anbetracht dieser Aussage und wegen des Zeitintervalls von drei Jahren zwischen Vor- und Nachuntersuchung erscheint es gerechtfertigt, auch den nur geringen $p\text{O}_2$ -Anstieg bei den Schrittmacherträgern als positiven Effekt zu bewerten.

Mit Hilfe des Kohlensäurepartialdruckes $p\text{CO}_2$ im arteriellen Blut und der arteriellen Sauerstoffsättigung des Hämoglobins Hb-O_2 -%-Sättigung wird eine Beurteilung respiratorischer Insuffizienzen ermöglicht. Um die Werte der Hb-O_2 -%-Sättigung zu erhalten, mußte eine Umrechnung des Sauerstoffpartialdruckes $p\text{O}_2$ unter Berücksichtigung des pH-Wertes durchgeführt werden (3).

Abb. 6 Veränderung des Kohlensäurepartialdruckes $p\text{CO}_2$ bei Schrittmacherimplantation

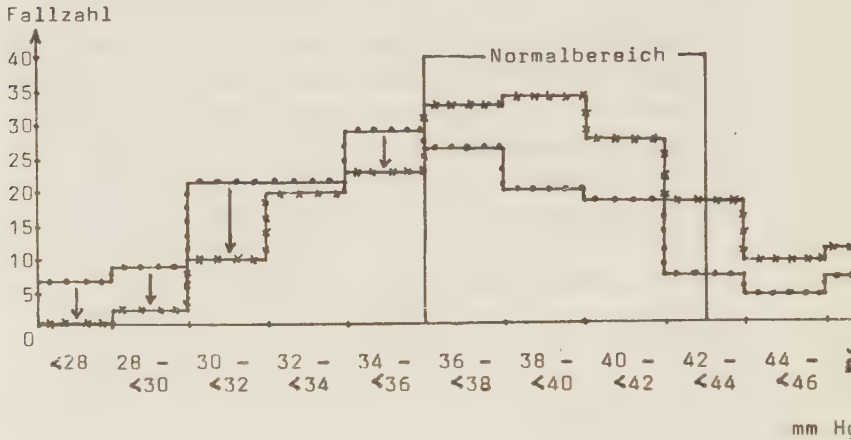
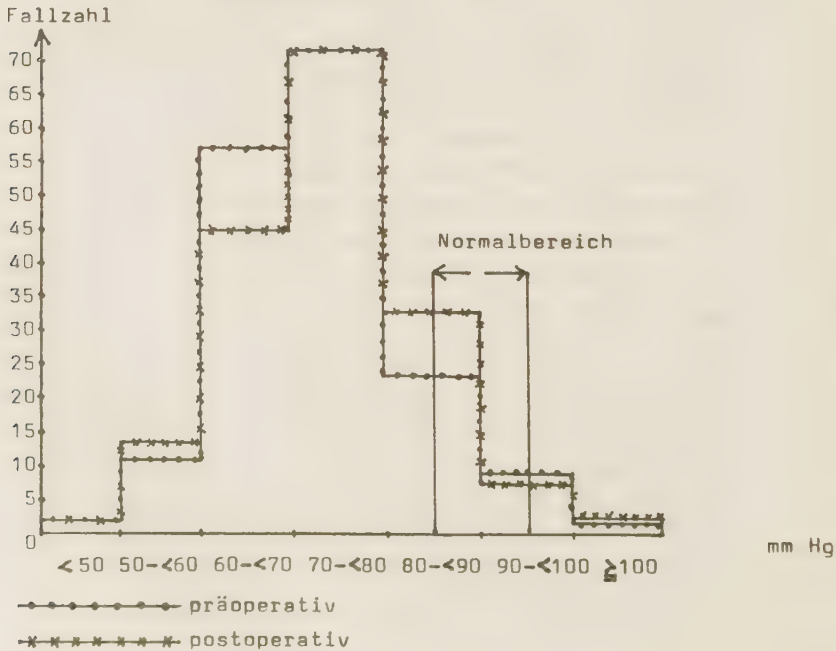


Abb. 7 Veränderung des Sauerstoffpartialdruckes $p\text{O}_2$ bei Schrittmacherimplantation



Es lassen sich folgende Gasaustauschstörungen unterscheiden, die in Abbildung 8 in eine graphische Beziehung zueinander gebracht sind:

Globalinsuffizienz: ist im weiteren Sinn jede Erhöhung des $p\text{CO}_2$ über den Normalwert, sowie eine Senkung des $p\text{O}_2$ bzw. der O_2 -Sättigung. Diese Definition schließt den Begriff der alveolären Hypoventilation ein. Kennzeichen der Globalinsuffizienz im engeren Sinn sind:

Hb- O_2 -%-Sättigung	↓	(<95 %)
$p\text{CO}_2$	↑	(>41,6 mmHg)

Alveoläre Hypoventilation: wird zu Teil der Globalinsuffizienz zugerechnet. Die Abgrenzung zur Globalinsuffizienz im engeren Sinn erfolgt durch das Ausmaß der $p\text{O}_2$ -Senkung, die bei der alveolären Hypoventilation geringer ist. So sind ihre Merkmale:

Hb- O_2 -%-Sättigung	n - (↓)	(95 - 97 %)
$p\text{CO}_2$	↑	(>41,6 mmHg)

Partialinsuffizienz: bedeutet zunächst jede Senkung des Sauerstoffpartialdruckes oder der O_2 -Sättigung bei normalem $p\text{CO}_2$. Im engeren Sinn sind die Kennzeichen der Partialinsuffizienz:

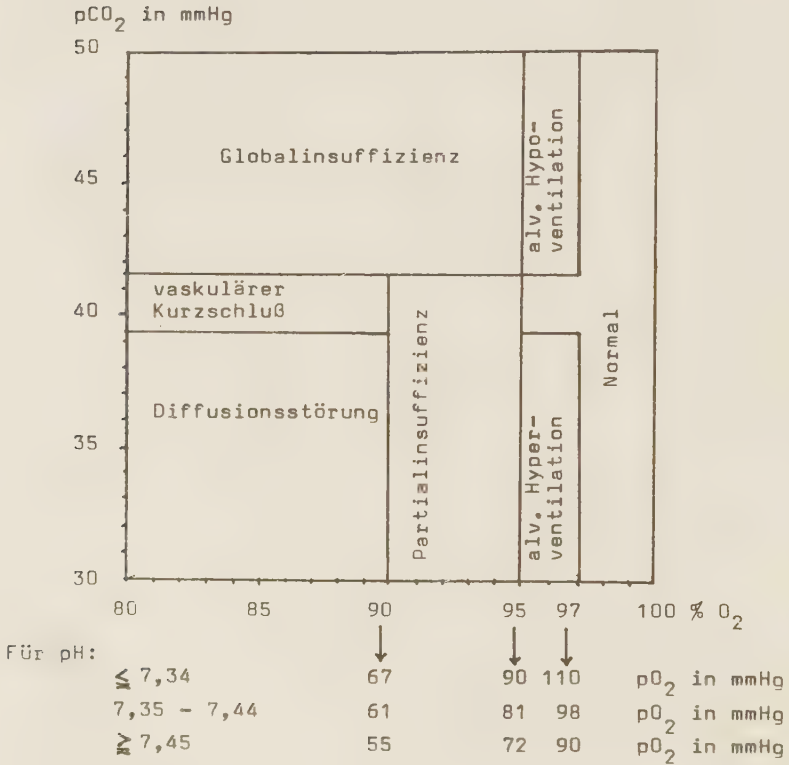
Hb- O_2 -%-Sättigung	↓	(90 - 95 %)
$p\text{CO}_2$	n - (↓)	(<41,6 mmHg)

Diffusionsstörung: gilt als Form der Partialinsuffizienz i.w.S. und ist gekennzeichnet durch einen stark erniedrigten $p\text{O}_2$ -Wert:

Hb- O_2 -%-Sättigung	↓	(<90 %)
$p\text{CO}_2$	n - ↓	(<39,4 mmHg)

Der Grund für das normale Verhalten des Kohlendioxidpartialdruckes ist darin zu sehen, daß das Diffusionsvermögen der Kohlensäure so gut ist, daß schon eine schwere, mit dem Leben nicht mehr vereinbare Hypoxämie bestehen müßte, bevor auch die Kohlensäure diffusionsbedingt im arteriellen Blut nennenswert anstiege (52).

Abb. 8 Beurteilung einer respiratorischen Insuffizienz aus $p\text{CO}_2$ und Hb-O_2 -%-Sättigung (modif. nach 3)



Alveoläre Hyperventilation: erzeugt eine respiratorische Alkalose mit pH-Anstieg, wobei es zur metabolischen Kompensation kommen kann, wenn der Zustand der alveolären Hyperventilation länger andauert. Die Kennzeichen dieser Gasaustauschstörung sind:

Hb-O₂-%-Sättigung n - (↓) (95 - 97 %)
 pCO₂ ↓ (<39,4 mmHg)

Vaskulärer Kurzschluß: ist eine Sonderform der Partialinsuffizienz im weiteren Sinn mit folgenden Merkmalen:

Hb-O₂-%-Sättigung ↓ (<90 %)
 pCO₂ n (39,4 - 41,6 mmHg)

Beim vaskulären Kurzschluß enthält die Lunge durchblutete Anteile, die nicht ventiliert sind. Daher ist der Quotient aus Ventilation $\dot{V}$ und Perfusion $\dot{Q}$ gleich null ($\dot{V}/\dot{Q} = 0$). Diese respiratorische Störung, die beispielsweise auch bei Rechtslinks-shunts im Herzen oder offenem Ductus Botalli mit Shuntumkehr vorkommen kann, ist manchmal von der Diagnose Diffusionsstörung allein mit den Parametern pO₂ und pCO₂ nur schwer zu trennen. Eine beträchtliche funktionelle Kurzschlußdurchblutung kann man oft bei schwerer Atemwegsobstruktion mit Verschuß einzelner Bronchien registrieren (50,52).

Teilt man die 174 Schrittmacherpatienten in die Gruppen der Gasaustauschstörungen ein, so erhält man folgendes Ergebnis (Tab. 6):

Bei der Voruntersuchung zur SM-Implantation überwiegen Partialinsuffizienzen und alveoläre Hyperventilationen mit 77,6 % der Fälle. Ein normaler Gasaustausch findet präoperativ nur bei 4,6 % der Untersuchten statt. Dieser Anteil verdoppelt sich bei der Nachuntersuchung und liegt damit bei 9,8 %. Andererseits ist auch ein Anstieg der Globalinsuffizienzen von 10,9 % auf 19,0 % aufgetreten,

Tab. 6 Beurteilung einer respiratorischen Insuffizienz aus $p\text{CO}_2$ und Hb-O_2 -%-Sättigung

Art der Störung	Fallzahl		Prozentzahl		prozentuale Veränderung
	präoperativ	postoperativ	präoperativ	postoperativ	
Normaler Gasaustausch	8	17	4,6 %	9,8 %	+ 5,2 %
Partialinsuffizienz	94	80	54,0 %	46,0 %	- 8,0 %
Globalinsuffizienz	19	33	10,9 %	19,0 %	+ 8,1 %
Alveoläre Hypoventilation	4	9	2,3 %	5,2 %	+ 2,9 %
Alveoläre Hyperventilation	41	26	23,6 %	14,9 %	- 8,7 %
Diffusionsstörung	5	6	2,9 %	3,4 %	+ 0,5 %
Vaskulärer Kurzschluß	3	3	1,7 %	1,7 %	+ 0 %
	174	174	100,0 %	100,0 %	

der wohl bedingt ist durch den Rückgang der Partialinsuffizienzen und der alveolären Hyperventilationen auf postoperativ 60,9 %. Die Anzahl der Patienten mit einer arteriellen Sauerstoffsättigung von unter 95 % nimmt bei der Kontrolluntersuchung nur um eine Person zu und erhöht sich damit auf 122 Fälle.

Zusammenfassend ergeben sich für die Gasaustauschstörungen folgende wesentliche Veränderungen bei den Schrittmachern Patienten: Partialinsuffizienzen entwickeln sich zu Globalinsuffizienzen, alveoläre Hyperventilationen normalisieren sich oder gehen in alveoläre Hypoventilationen über.

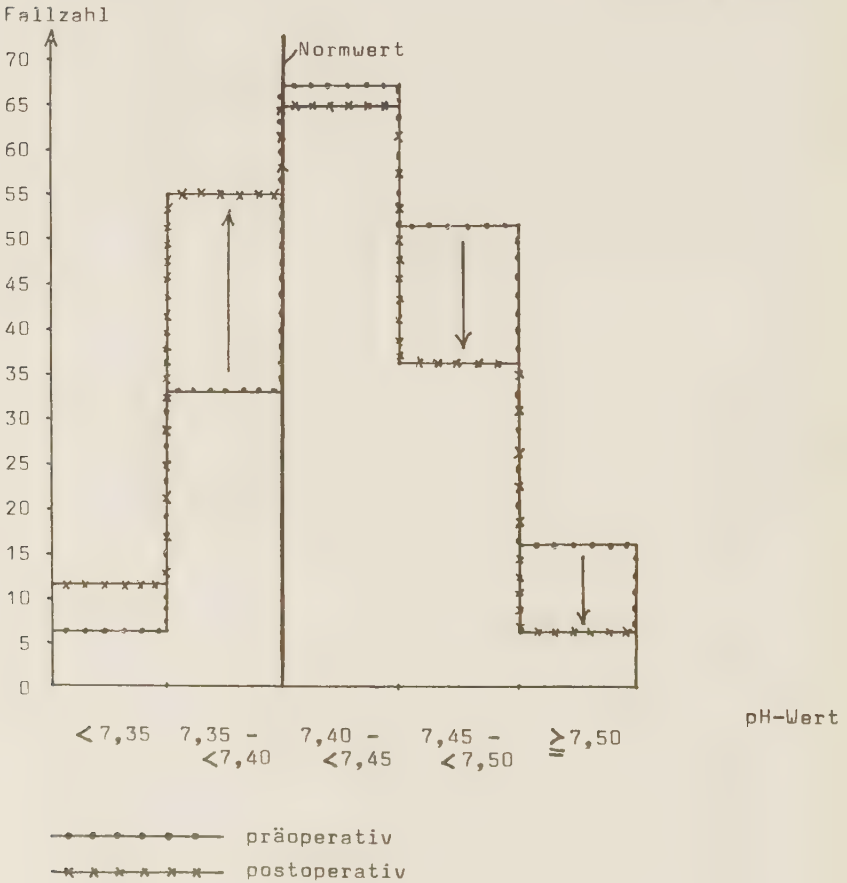
d) Veränderungen im Säure-Basen-Haushalt

Die Blutgasanalyse dient zur Beurteilung des Säure-Basen-Status. Dazu sind die Parameter pH-Wert, aktuelles Bikarbonat, Kohlensäuregehalt, Kohlensäure- und Sauerstoffpartialdruck untersucht worden. Mit den beiden letztgenannten Größen pCO_2 und pO_2 hat sich bereits der vorhergehende Abschnitt befaßt.

Der pH-Wert ändert sich bei den beiden durchgeführten Untersuchungen im Mittel anscheinend nur gering von 7,43 auf 7,41. Trotzdem ist diese Abnahme wegen der hohen Zahl der untersuchten Fälle statistisch signifikant. In den durchschnittlich drei Jahren der Schrittmachertherapie hat sich bei den untersuchten Personen also der pH-Wert zum Normbereich 7,38 - 7,42 hin verschoben. Die alkalotische Stoffwechsellage, die präoperativ bei der Mehrzahl der Patienten vorlag, wird korrigiert. Dies stimmt gut mit der oben beschriebenen pCO_2 -Normalisierung überein. Die Abbildung 9 veranschaulicht die pH-Wert-Änderung graphisch.

Auch das aktuelle Bikarbonat verändert sich signifikant. Der Mittelwert von 23,8 mval/l vor der SM-

Abb. 9 Veränderungen des pH-Wertes bei den 174 SM-Patienten



Implantation steigt auf 24,9 mval/l bei der Nachuntersuchung an. Selbst wenn der statistische Test zur Signifikanzprüfung positiv ausgefallen ist, erscheint doch in der klinischen Beurteilung diese Zunahme des aktuellen Bikarbonates wenig gravierend, zumal auch die Streubreite recht groß ist. Prä- und postoperativ sind als kleinste Werte 14,2 bzw. 17,7 mval/l gemessen worden, als höchste 38,6 und 34,9 mval/l. Auf den Zusammenhang zwischen dieser Meßgröße und dem pH-Wert sowie dem Kohlensäurepartialdruck wird weiter unten noch eingegangen.

Der Gehalt des Blutplasmas an Kohlensäure CO_2 verzeichnet ebenfalls einen Anstieg bei der Nachuntersuchung. Der Mittelwert ändert sich von 25,0 mval/l auf 26,1 mval/l und bewegt sich damit aus dem Normbereich (24,4 - 25,6 mval/l) heraus. So liegt also bei den Schrittmacherträgern postoperativ ein Säure-Basen-Haushalt vor, der durch einen erhöhten Kohlensäuregehalt des Blutes bei völlig normalem Kohlensäurepartialdruck gekennzeichnet ist.

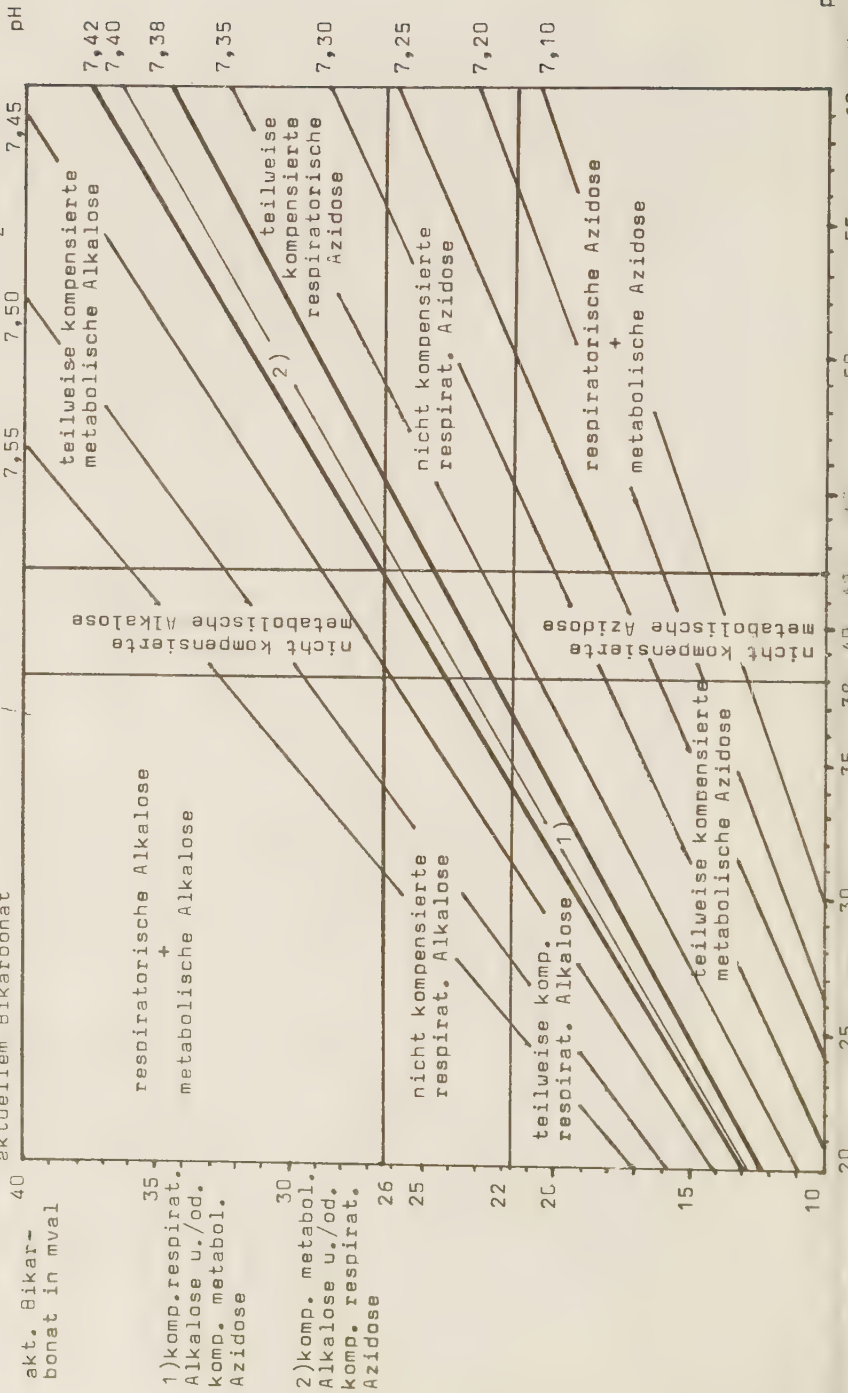
Abbildung 10 gibt ein Diagramm zur Bestimmung der Störungen des Säure-Basen-Haushaltes wieder, in das die blutgasanalytischen Parameter pH, pCO_2 und aktuelles Bikarbonat eingehen. Mit Hilfe dieses Schemas sind die Patienten in die verschiedenen Diagnosegruppen eingeteilt worden. Die Tabellen 7 und 8 zeigen die Resultate der Auswertung.

Im wesentlichen findet man folgende Veränderungen. Die Alkalosen gehen von präoperativ 57 % auf postoperativ 42 % zurück, dafür erhöht sich der Anteil an Azidosen von 10 % vorher auf 22 % bei der Nachuntersuchung. Ein normaler oder voll kompensierter Säure-Basen-Status liegt zunächst in 33 %, nach SM-Implantation in 36 % der Fälle vor. Untersucht man die Störungen genauer auf ihre respiratorische

Abb. 10a

akt. Bikar-
bonat in mval

Diagramm zur Bestimmung der blutgasanalytischen Diagnose aus pH, $p\text{CO}_2$ und
aktuellem Bikarbonat



Diagnose

Normaler Säure-Basen-Haushalt

Teilweise kompensierte metabolische Azidose
 Nicht kompensierte metabolische Azidose
 Respiratorische und metabolische Azidose
 Nicht kompensierte respiratorische Azidose
 Teilweise kompensierte respiratorische Azidose
 Azidose bei normalem aktuellen Bikarbonat und pCO_2

Teilweise kompensierte metabolische Alkalose
 Nicht kompensierte metabolische Alkalose
 Respiratorische und metabolische Alkalose
 Nicht kompensierte respiratorische Alkalose
 Teilweise kompensierte respiratorische Alkalose
 Alkalose bei normalem aktuellen Bikarbonat und pCO_2

Kompensierte respiratorische Alkalose und/oder
 kompensierte metabolische Azidose
 Kompensierte metabolische Alkalose und/oder
 kompensierte respiratorische Azidose

pH-Wert	pCO_2 -Wert (mmHg)	akt. Bikarbonat (mval/l)
7,38-7,42	38,0-42,0	21,6-26,4
<7,38 >7,42	<38,0	<22,4
	38,0-42,0	<21,6
	>42,0	<21,6
	>42,0	21,6-26,4
	>42,0	>26,4
>7,42 <7,38	38,0-42,0	21,6-26,4
	>42,0	>26,4
	38,0-42,0	>26,4
	<38,0	>26,4
	<38,0	21,6-26,4
>7,38-7,42 >7,38-7,42	<38,0	<26,4
	>42,0	>21,6

Tab. 7 Störungen des Säure-Basen-Haushaltes v o r SM-Implantation

Art der Störung	Fallzahl	Prozentzahl
Normaler Säure-Basen-Haushalt	10	5,9 %
Teilweise kompensierte metabolische Azidose	8	4,7 %
Nicht kompensierte metabolische Azidose	3	1,8 %
Nicht kompensierte respiratorische Azidose	1	0,6 %
Azidose bei normalem aktuellen Bikarbonat und pCO_2	6	3,6 %
Teilweise kompensierte metabolische Alkalose	6	3,6 %
Nicht kompensierte metabolische Alkalose	11	6,5 %
Respiratorische und metabolische Alkalose	11	6,5 %
Nicht kompensierte respiratorische Alkalose	45	26,6 %
Teilweise kompensierte respiratorische Alkalose	14	8,3 %
Alkalose bei normalem aktuellen Bikarbonat und pCO_2	8	4,7 %
Kompensierte respiratorische Alkalose und/oder kompensierte metabolische Azidose	35	20,7 %
Kompensierte metabolische Alkalose und/oder kompensierte respiratorische Azidose	11	6,5 %
	169	100,0 %

Tab. 8 Störungen des Säure-Basen-Haushaltes n a c h SM-Implantation

Art der Störung	Fallzahl	Prozentzahl	Veränderung gegen- über Tabelle 7
Normaler Säure-Basen-Haushalt	19	11,1 %	+ 5,2 %
Teilweise kompensierte metabolische Azidose	11	6,4 %	+ 1,7 %
Nicht kompenzierte metabolische Azidose	6	3,5 %	+ 1,7 %
Nicht kompenzierte respiratorische Azidose	6	3,5 %	+ 2,9 %
Teilweise kompensierte respiratorische Azidose	2	1,2 %	+ 1,2 %
Azidose bei normalem aktuellen Bikarbonat und pCO_2	13	7,6 %	+ 4,0 %
Teilweise kompensierte metabolische Alkalose	13	7,6 %	+ 4,0 %
Nicht kompensierte metabolische Alkalose	21	12,3 %	+ 5,8 %
Respiratorische und metabolische Alkalose	6	3,5 %	- 3,0 %
Nicht kompensierte respiratorische Alkalose	24	14,0 %	-12,6 %
Teilweise kompensierte respiratorische Alkalose	4	2,3 %	- 6,0 %
Alkalose bei normalem aktuellen Bikarbonat und pCO_2	3	1,8 %	- 2,9 %
Kompensierte respiratorische Alkalose und/oder kompensierte metabolische Azidose	27	15,8 %	- 4,9 %
Kompensierte metabolische Alkalose und/oder kompensierte respiratorische Azidose	16	9,4 %	+ 2,9 %
	171	100,0 %	

oder metabolische Herkunft, so ergibt sich dieses Bild:

	präoperativ	postoperativ	Veränderung
Respirator.			
Azidosen	0,6 % (1 Fall)	4,7 % (8 Fälle)	+ 4,1 %
Metabolische			
Azidosen	6,5 % (11 Fälle)	9,8 % (17 Fälle)	+ 3,3 %
Respirator.			
Alkalosen	34,9 % (59 Fälle)	16,3 % (28 Fälle)	- 18,6 %
Metabolische			
Alkalosen	10,1 % (17 Fälle)	19,9 % (34 Fälle)	+ 9,8 %

Die Übrigen Fälle verteilen sich, soweit nicht normal oder voll kompensiert, auf gemischte Störungen des Säure-Basen-Haushaltes. Die Zusammenfassung zeigt, daß vor allem respiratorische Alkalosen abnehmen, während sowohl metabolische Alkalosen als auch beide Arten der sauren Störungen ansteigen. Mögliche Ursachen solcher Veränderungen werden unter Punkt IV behandelt.

Eine positive Entwicklung zeigt der Vergleich zwischen den Ergebnissen der Vor- und Nachuntersuchung bei den nicht und teilweise kompensierten Störungen an. Zwar steigen teilweise kompensierte Störungen geringfügig von 16,6 % auf 17,5 % an, dafür ist aber die Abnahme der nicht kompensierten von 42,0 % auf 36,8 % wesentlich deutlicher.

Für die Beurteilung des Säure-Basen-Haushaltes bei dem untersuchten Kollektiv kann insgesamt festgestellt werden, daß die Anzahl der normalen Blutgasanalysen zugenommen hat, ebenso die der azidotischen Störungen. Demgegenüber reduzieren sich die Alkalosen erheblich, mit Ausnahme der metabolisch verursachten. Diese zeigen wie die Azidosen einen Anstieg.

2. Vergleichende statistische Untersuchungen an Untergruppen

a) Aufteilung nach Elektrodenlokalisation

Bei der Einteilung der Schrittmacherimplantationen nach der Art ihrer Elektrodenplatzierung am Herzen findet sich in unserem Untersuchungsgut bei 124 Fällen eine transvenöse, in 50 Fällen eine epi-myokardiale Sondenlokalisation. Für jede der beiden Gruppen ist getrennt eine Auswertung der spirometrisch gemessenen Vitalkapazität VK und des Atemzeitquotienten AZQ durchgeführt worden.

Dabei zeigt der VK-Mittelwert in der Gruppe mit transvenös gelegtem SM einen signifikanten Rückgang von 79,0 % auf 75,1 % des Sollwertes. Dieser Änderung um 3,9 % steht bei den myokardialen Schrittmachern eine Differenz von 4,4 % zwischen Vor- und Nachuntersuchung gegenüber. Trotzdem kann letzterer Wert mit statistischen Tests nicht als signifikant nachgewiesen werden. Dies beruht wohl auf der relativ großen Standardabweichung und dem kleineren Stichprobenumfang. Jedenfalls kann festgehalten werden, daß sich sowohl bei transvenöser als auch bei myokardialer Elektrodenlokalisation die VK etwa um 4 % reduziert. Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß die epi-myokardiale Implantationsart offenbar vorwiegend bei denjenigen Patienten zur Anwendung gekommen ist, die schon mit einer etwas schlechteren Lungenfunktion zur SM-Operation aufgenommen worden sind, als es dem Durchschnitt entspricht. So ist es erklärlich, daß diese Patienten auch bei der Nachuntersuchung eine geringere Vitalkapazität aufweisen, als die Gruppe mit intrakardialer Elektrodenlokalisation. Eine eindeutige Abhängigkeit der VK von der Befestigungstechnik der Schrittmacherelektroden liegt somit nicht vor.

Deutlichere Unterschiede zwischen beiden Gruppen findet man bei der Untersuchung des Atemzeitquotienten, dessen Normalbereich, wie schon oben erwähnt, von $1 : 0,8-1,2$ reicht. Während nun bei der transvenös versorgten Patientengruppe eine signifikante Korrektur des AZQ erfolgt, die zu einer Wertenormalisierung führt, verändert sich bei der anderen Gruppe der AZQ-Mittelwert postoperativ nur minimal. Allerdings liegt der Atemzeitquotient bei dieser epi-myokardial operierten SM-Gruppe von vornherein mit $1 : 0,8$ im Sollbereich. Demgegenüber sind die relativen Werte der Voruntersuchung in der transvenösen SM-Gruppe für die Inspirationsdauer 0,7 bei einer Expirationsdauer von 1. Postoperativ verändert sich diese Beziehung auf $1 : 0,8$, was für eine Verlängerung der Inspirationsdauer bzw. für eine Verkürzung der Expirationszeit spricht.

Es läßt sich also sagen, daß bei der Nachuntersuchung für beide Methoden der Elektrodenplatzierung ein normaler Atemzeitquotient vorliegt, der für die myokardiale Lokalisation schon präoperativ bestanden hat, für die transvenös gelegten Elektroden dagegen erst erreicht worden ist. Dies läßt zwei Überlegungen zu: Zum einen ist es möglich, daß Herzschrittmacher unabhängig von ihrer Elektrodenlokalisierung nur dann einen verändernden Effekt auf den AZQ zeigen, wenn dieser pathologisch verschoben ist. Zum anderen ist es auch denkbar, daß nur transvenös implantierte SM eine deutliche Wirkung auf den AZQ besitzen und so die oben erwähnte Normalisierung bewirken können, während epi-myokardial befestigte Elektroden den AZQ relativ unbeeinflusst lassen.

b) Aufteilung nach Indikationsgruppen

Die Auswertung dieses Abschnittes befaßt sich mit der Veränderung der Vitalkapazität in Abhängigkeit

von der Diagnose, die zur Schrittmacherimplantation geführt hat. Zu diesem Zweck sind vier Patientengruppen gebildet worden, die durch jeweils eine Hauptindikation gekennzeichnet sind: 1. Zweit- oder drittgradige AV-Blöcke, 2. Sinusknotensyndrom i.w.S., 3. Hypersensitives Carotissinussyndrom und 4. Bradyarrhythmien. In Tabelle 9 liegt ein Überblick über die Ergebnisse dieser vier Indikationsgruppen vor, die zusammen 149 Fälle umfassen. Dabei fällt zunächst auf, daß allein in Gruppe 4 ein Anstieg der VK verzeichnet werden kann. Wird folglich wegen einer Bradyarrhythmie ein SM implantiert, so darf man damit rechnen, daß sich die Vitalkapazität dieser Patienten verbessert, oder doch zumindest ihren Wert behält.

Bei den drei anderen Indikationsgruppen ist ein VK-Verlust aufgetreten, der bei den Patienten mit Sinusknotensyndrom mit 8,3 % am stärksten ausgefallen ist. Diese negativ anmutende Entwicklung wird jedoch von der Tatsache eingeschränkt, daß bei Gruppe 2 der präoperative Wert erheblich höher als derjenige der anderen Klassen gewesen ist und auch bei der Nachuntersuchung trotz der starken Abnahme noch mit an der oberen Grenze des Untersuchungskollektivs liegt (76,0 % vom Sollwert der Vitalkapazität).

Während für das hypersensitive Carotissinussyndrom die VK-Reduzierung auf dem 5 %-Signifikanzniveau positiv ausfällt, kann für Patienten mit AV-Blöcken höheren Grades keine sichere postoperative VK-Veränderung festgestellt werden. Der Herzschrittmacher kann eine Vitalkapazitätsabnahme nicht verhindern. So hat sich also dadurch, daß das Herz künstlich zu einer höheren Schlagfrequenz aneregt wird, keine Verbesserung der Lungenfunktion nachweisen lassen. Die Frage, wodurch die Vitalkapazitätsveränderungen im einzelnen verursacht sein können, wird unter Punkt IV erörtert.

Tab. 9 Veränderung der Vitalkapazität je nach Indikation zur SM-Implantation

Diagnosengruppe	Fallzahl	VK in Prozent des Sollwertes		Veränderung
		präoperativ	postoperativ	
Gruppe 1 : AV-Blöcke II ⁰ und III ⁰	30	75,5 %	71,9 %	- 3,6 %
Gruppe 2 : Sinusknotensyndrom	50	84,3 %	76,0 %	- 8,3 % *
Gruppe 3 : Carotissinussyndrom	44	77,3 %	73,4 %	- 3,9 % *
Gruppe 4 : Bradyarrhythmien	25	75,2 %	76,1 %	+ 0,9 %

(*signifikant im T-Test bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$)

c) Aufteilung nach dem Geschlecht

Die Untersuchungen in diesem Abschnitt dienen der Überprüfung, in welchem Ausmaß sich die Geschlechtszugehörigkeit in den Auswertungen niederschlägt.

Für das Atemvolumen und die absoluten 1-Sekundenkapazitäten inspiratorisch wie expiratorisch erfolgt eine Auftrennung der 174 Fälle des Patientengutes in die 108 männlichen und 68 weiblichen Personen. Wie aus den Abbildungen 11 und 12 für das Atemzugvolumen zu ersehen ist, ähneln sich die Histogramme für die Geschlechter sowohl prä- als auch postoperativ. Zwar liegen bei den Frauen die zahlenmäßig stärksten Klassen etwas unterhalb des Normvolumens von 500 ml und bei den Männern ziemlich genau über diesem Sollwert, doch kann man feststellen, daß eine erhebliche Distanz zwischen den Gipfeln der Diagramme nicht besteht und daß auch bei den Männern der Bereich von 300 - 500 ml stärker besetzt ist, als der entsprechende Abschnitt rechts der 500 ml-Marke (500 - 700 ml).

Für die Diagramme der 1-Sekundenkapazitäten sind Größe und Alter der Patienten zu berücksichtigen. Über die Beziehung zur Körpergröße liegt auch eine Geschlechtsabhängigkeit der Sekundenkapazität vor. Die Histogramme der Abbildung 13 vergleichen jeweils die in Klassen eingeteilten Meßwerte männlicher und weiblicher SM-Patienten hinsichtlich der Parameter absolute inspiratorische und absolute expiratorische 1-Sekundenkapazität prä- und postoperativ. Nach Literaturangaben soll für das durchschnittliche Patientenalter von 61 1/2 Jahren die Sekundenkapazität ca. 70 % der Vitalkapazität (61 - 79 %) betragen. Als normaler Absolutwert der VK gilt in der Altersgruppe der 60 - 69 jährigen 2300 ml mit einer großen Schwankungsbreite je nach der Körpergröße der Probanden (1,20). Dieser Normwert ist in den Dia-

Abb. 11 Atemzugvolumen vor SM-Implantation, aufgeteilt nach dem Geschlecht (Patienten: 106 m, 68 w)

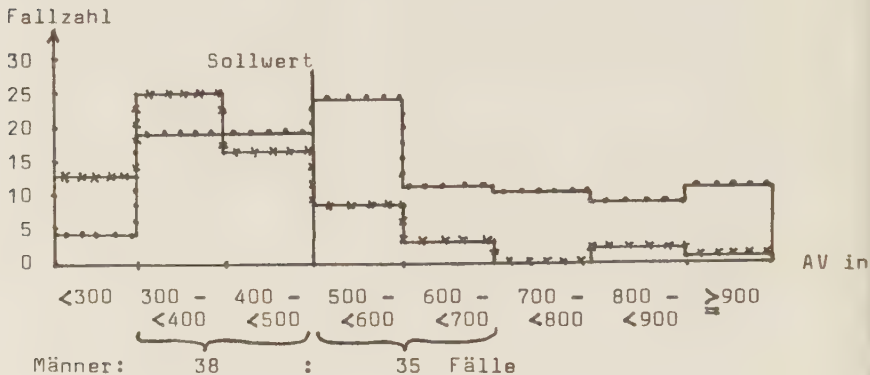
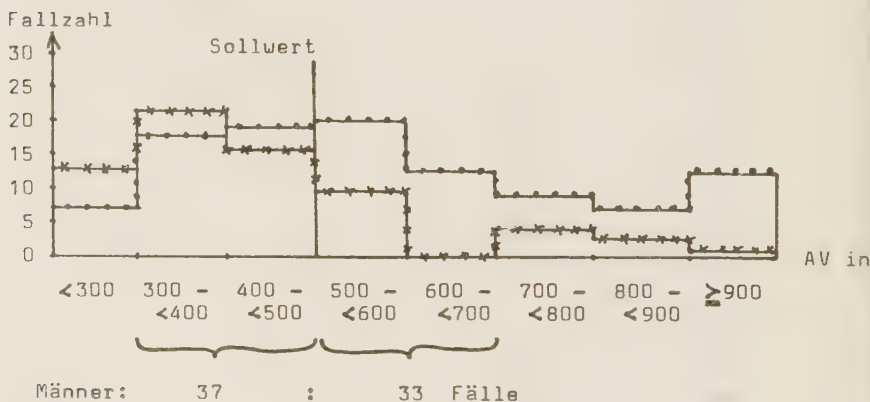


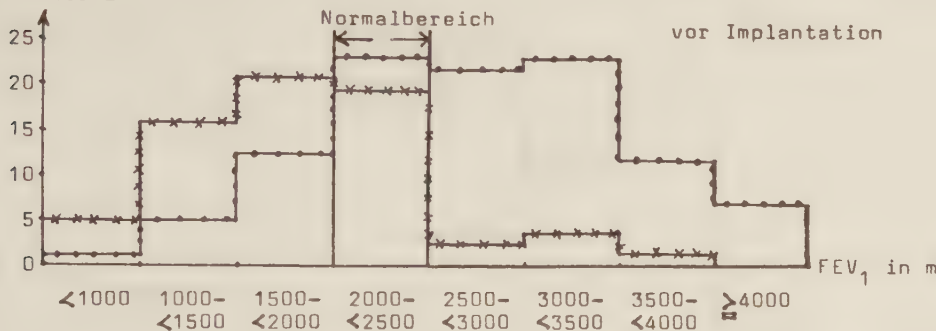
Abb. 12 Atemzugvolumen nach SM-Implantation, aufgeteilt nach dem Geschlecht (Patienten: 106 m, 68 w)



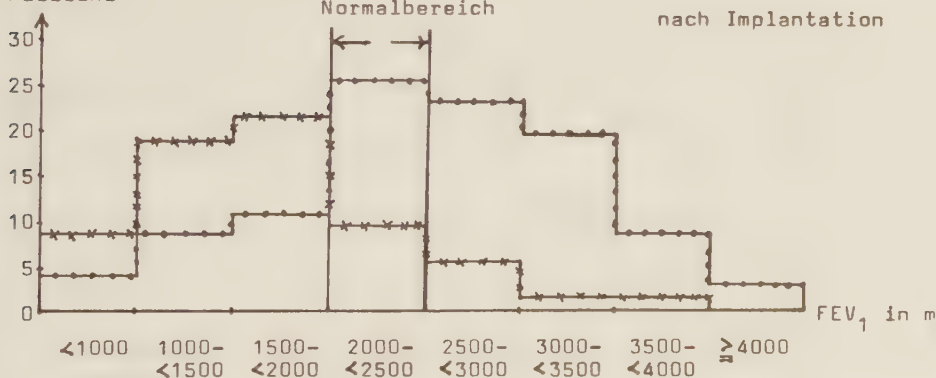
—•— männliche Patienten
 —x— weibliche Patienten

Abb. 13a 1-Sekundenkapazität FEV_1 in s p i r a t o r i s c h
vor und nach SM-Implantation, aufgeteilt nach dem
Geschlecht

Fallzahl



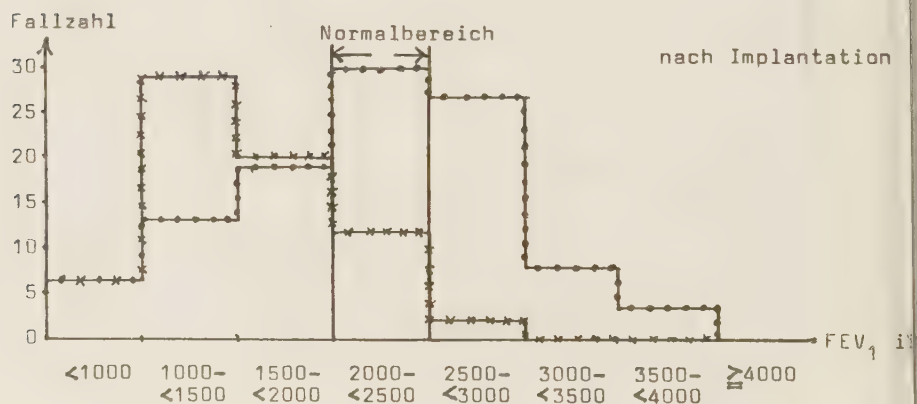
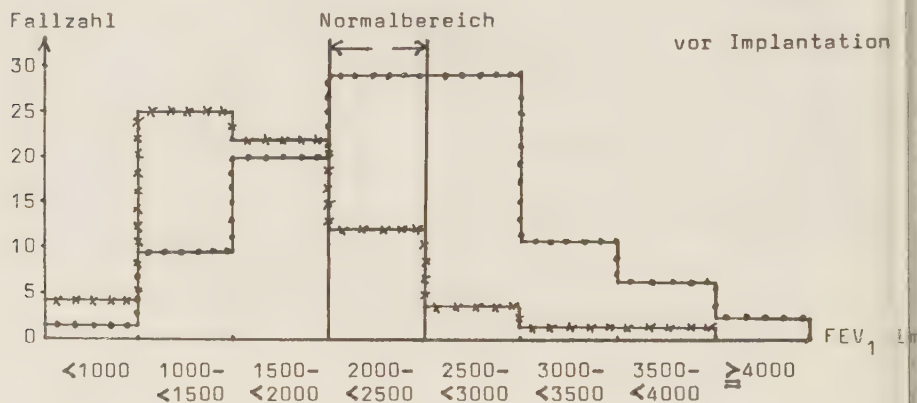
Fallzahl



—•— männliche Patienten

—x— weibliche Patienten

Abb. 13b 1-Sekundenkapazität FEV_1 expiratorisch vor und nach SM-Implantation, aufgeteilt nach dem Geschlecht



—•— männliche Patienten
 —x— weibliche Patienten

grammen gekennzeichnet und verdeutlicht, daß sich die Bereiche der größten Häufigkeiten für beide Geschlechter nahe um den Sollwert gruppieren und sich zum Teil gegenseitig überlappen. Damit ist ausgeschlossen, daß die Mittelwerte des Gesamtkollektivs durch einen geschlechtsspezifischen Einfluß verfälscht werden.

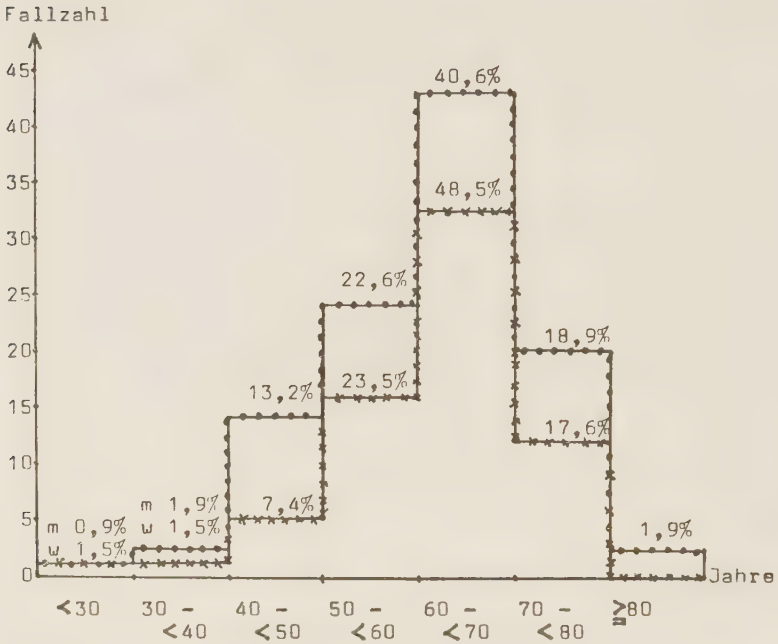
Weiterhin kann gezeigt werden, daß sich das Alter bei Erstimplantation eines Schrittmachers - im gesamten Untersuchungsgut 61 Jahre 6 Monate - bei Männern und Frauen um gut ein halbes Jahr unterscheidet. Das Implantationsalter der männlichen Patienten liegt im Mittel bei 61,15 Jahren, während Patientinnen durchschnittlich erst mit 61,81 Jahren ein Schrittmacher implantiert worden ist. Bei der klassifizierten graphischen Darstellung des Implantationsalters stellt sich dieser Unterschied von etwa acht Monaten nicht dar (Abb. 14).

3. Einzelbeobachtungen

a) Veränderungen hinsichtlich der Sauerstoffaufnahme bei vier Patienten

Die Veränderungen in der Lungenfunktion zwischen Vor- und Nachuntersuchung, die bei dieser kleinen Gruppe festgestellt werden, können keinesfalls Hinweise auf Unterschiede beim Gesamtkollektiv geben. Dies gilt umso mehr, als die SM-Implantation in allen vier Fällen erst einer Herzfehleroperation gefolgt ist. Daher scheint eher eine Aussage für die Patientengruppe möglich zu sein, die zu Herzfehlerkorrekturen eingewiesen worden ist und intraoperativ durch Entwicklung eines AV-Blockes oder anderer bradykarder Rhythmusstörungen mit einem künstlichen Herzschrittmacher versorgt werden mußte. Die vier untersuchten

Abb. 14 Implantationsalter, aufgeteilt nach dem Geschlecht
(Patienten: 106 m, 68 w)



Die Prozentzahlen geben den Anteil innerhalb der beiden Geschlechtsgruppen an.

—●—●—●—●— männliche Patienten
—×—×—×—×— weibliche Patienten

Tab. 10 Veränderung der Lungenfunktionswerte vor und nach SM-Implantation bei vier Herzfehlerpatienten unter besonderer Berücksichtigung der Sauerstoffaufnahme
(↑ = Zunahme, ↓ = Abnahme, ↔ = keine Veränderung)

	Patient 1	Patient 2	Patient 3	Patient 4	Gesamtkollektiv
Geschlecht:	W	W	W	W	106 m, 68 w
Alter:	55 J.	47 J.	60 J.	66 J.	61 1/2 J.
O ₂ -Aufnahme					
ohne SM:	176,0 %	38,3 %	62,2 %	134,4 %	
mit SM:	128,5 %	89,9 %	175,0 %	139,0 %	
Atemäquivalent in Ruhe					
ohne SM:	3,1 l	10,0 l	8,2 l	4,9 l	
mit SM:	3,7 l	4,3 l	2,5 l	2,1 l	
Sauerstoffaufnahme in Ruhe					
ohne SM:	33 ml/l	10 ml/l	12 ml/l	21 ml/l	
mit SM:	27 ml/l	24 ml/l	40 ml/l	48 ml/l	
Einweisung wegen:					
Herzfehleroperation	Herzfehleroperation	Herzfehleroperation	Herzfehleroperation	Herzfehleroperation	
(Herzklappenersatz	(Herzklappenersatz	(Herzklappenersatz	(Herzklappenersatz	(bei Mitralklappen-	
u. totaler AV-Block)	u. totaler AV-Block)	u. totaler AV-Block)	u. totaler AV-Block)	insuffizienz, KHK u.	
				Bradyarrhythmie)	
				demand	
SM-Typ:	demand	demand	demand		
Statische Lungenfunktionsparameter:					
VK	↑	↑	↑	↑	↑
ERV	↑		↑	↑	↑
Dynamische Lungenfunktionsparameter:					
FEV ₁	↑	↑	↑	↑	↑
AZQ	↑	↑	↔	↑	↑
Blutgasanalyse:					
pH	↑	↑	↑	↑	↑
akt. Bik.	↑	↑	↑	↑	↑
pCO ₂	↑	↑	↑	↑	↑
CO ₂	↑	↑	↑	↑	↑

Fälle repräsentieren etwa ein Viertel dieser sekundären SM-Patienten.

In Tabelle 10 ist eine Gegenüberstellung der Patienten vorgenommen worden. Um eine bessere Beurteilung zu ermöglichen, sind neben den Werten der Sauerstoffaufnahme sowie der davon abgeleiteten Größen auch die Einweisungsdiagnosen und die Veränderungen der wichtigsten Lungenfunktionsparameter dargestellt. Außerdem sind die signifikanten Änderungen beim Gesamtkollektiv in die Tabelle mitaufgenommen worden.

Die Bedeutung, die die Messung der Sauerstoffaufnahme zur Bewertung der körperlichen Leistungsfähigkeit besitzt, geben Ulmer und Mitarbeiter (52) folgendermaßen an: "Da im Organismus letzten Endes alle Arbeit und Leistung aus oxidativen Stoffwechselvorgängen stammt, ist der Sauerstoffverbrauch ein relatives Maß für den Energieumsatz...". Somit steigt bei zunehmendem Energieumsatz auch der Sauerstoffverbrauch. Dies ist bei drei Patienten der Fall. Bei einem dagegen fällt die O_2 -Aufnahme, bleibt aber mit 128,5 % des Sollwertes noch immer deutlich erhöht. Zu diesem Rückgang ist das Verhalten der Vitalkapazität und der Reserveluft umgekehrt proportional: Nur wo die O_2 -Aufnahme sinkt, steigt VK und ERV. Die Messungen der Sauerstoffaufnahme sind unter Ruhebedingungen erfolgt.

Mit Hilfe des Atemminutenvolumens und der O_2 -Aufnahme kann das Atem- oder Ventilationsäquivalent für Sauerstoff berechnet werden:

$$\text{Ventilationsäquivalent} = \text{AMV} / O_2\text{-Aufnahme} \times 10$$

Es gibt eine Beziehung zwischen Sauerstoffaufnahme und Ventilation an und gilt als Maß dafür, wieviel Liter Atemluft für 100 ml O_2 -Aufnahme ventiliert werden müssen (3). Anders ausgedrückt bezeichnet das Atemäquivalent die Luftmenge, aus der die Lunge 100 ml Sauerstoff entnehmen kann. Der Normalwert in

Ruhe wird mit 2,3 - 3,6 l angegeben (6,30,36,56). Die reziproke Beziehung der beiden Größen AMV und O_2 -Aufnahme führt zum Sauerstoffausnützungskoeffizienten. Er bezeichnet die Sauerstoffentnahme der Lunge aus 1 Liter Atemminutenvolumen; sein Ruhenormalwert beträgt 30 - 45 ml/l.

Bei drei der vier Patienten verbessert sich das Ventilationsäquivalent, indem sich die Luftmengen, die zum Gewinn von 100 ml O_2 führen, erheblich reduzieren und zum Teil den Normalwert erreichen. Nur bei der Patientin, deren Sauerstoffaufnahme fällt, kommt es zu einer geringfügigen Zunahme des Atemäquivalentes. Die Sauerstoffausnützung muß sich definitionsgemäß genau entgegengesetzt zum Atemäquivalent verhalten. Damit laufen ihre Veränderungen denjenigen der O_2 -Aufnahme parallel: Es kommt bei den drei Fällen mit zunehmender Sauerstoffaufnahme auch zu einer Verbesserung der O_2 -Ausnützung, die um über 100 % ansteigt und Werte bis über 40 ml O_2 /l AMV erreicht.

Bemerkenswert ist darüber hinaus auch die vom Gesamtkollektiv differierende Reaktion der Blutgase. Zwar bewegt sich der pH-Wert bei den vier Patienten ebenso wie der gemittelte Wert aller Patienten im wesentlichen von einer leicht alkalotischen Stoffwechsellage zu einer normalen H^+ -Ionenkonzentration hin, jedoch fallen im Vergleich zur präoperativen Situation aktuelles Bikarbonat, Kohlensäurepartialdruck und Kohlensäuregehalt des arteriellen Blutes bei der Nachuntersuchung deutlich ab. Hier verzeichnet das Gesamtkollektiv jeweils einen signifikanten Anstieg. Ordnet man die beschriebenen Fälle nun in das Schema der Abbildung 10 ein, so stellt man eine Veränderung von nicht kompensierten metabolischen oder respiratorischen Alkalosen hin zu teilweise kompensierten respiratorischen Alkalosen

fest. Auch diese Entwicklung steht im Gegensatz zu den allgemeinen Veränderungen. Abschließend soll nochmals darauf hingewiesen werden, daß die Veränderungen der Lungenfunktionen und Blutgase bei diesen vier Patienten sicher nicht allein auf den implantierten Schrittmacher zurückgeführt werden dürfen, sondern auch oder sogar in erster Linie ihre Ursache in dem durch die Herzoperation verbesserten Klappenapparat haben.

b) Sechs Fälle mit vorhofgesteuertem Herzschrittmacher

Von den 174 Schrittmacherpatienten tragen 168 einen Demand-SM. Nur bei sechs Patienten ist ein vorhofgesteuerter Schrittmacher implantiert worden. Dieser SM-Typ gilt als natürlichste Form der artifiziellen Herzstimulation. So wird von Rosenkranz und anderen (17,37) betont, daß nur auf diese Weise die physiologische Kontraktionsfolge zwischen den Vorhöfen und Kammern wieder hergestellt und folglich die wünschenswerte Frequenzanpassung an die geforderte Belastung verwirklicht werden kann. Des weiteren wird darauf hingewiesen, daß sich vor allem jüngere SM-Patienten mit einem vorhofgesteuerten Gerät optimal versorgen ließen. So ist es nicht verwunderlich, daß auch die hier untersuchten sechs Patienten mit etwas über 43 Jahren einen wesentlich niedrigeren Altersdurchschnitt aufweisen, als das Gesamtkollektiv mit 61 1/2 Jahren. Ob sich auch nachweisen läßt, daß durch den vorhofgesteuerten SM eine optimalere Versorgung erreicht worden ist, sollen die folgenden Auswertungen zeigen. Eine vergleichende Übersicht gibt Tabelle 11.

Die Diagnosen, die bei den sechs Patienten zur SM-Implantation geführt haben, sind zum Teil sehr selten und durchaus keine primären Indikationen für eine

Tab. 11 Sechs Patienten mit vorhofgesteuertem SM im Vergleich mit dem Gesamtkollektiv

Patient 1		Patient 2	Patient 3	Patient 4	Patient 5	Patient 6	Gesamtkollektiv
Geschlecht:	w	m	m	m	m	m	106 m, 68 w
Alter:	25 J.	58 J.	49 J.	22 J.	45 J.	61 J.	61 1/2 J.
Einweisung wegen:							
Herzfehleroper-		Gefäßöckerkran-	Sinusknoten-	Herzmuskeler-	AV-Block	AV-Block	
ration (ASD u.		kung (KHK,	syndrom	krankung (Kar-	III°	III°	
Ebstein-Dysto-		Bypass-Op.)		diomyopathie			
pie d. Trikus-				u. AV-Block			
pidalklappe)				III°)			
SM-Typ:		vorhofgesteuert					
Statische Lungenfunktionsparameter:							
VK	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
ERV	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
AV	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Vk (Kammer)	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
RV	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
TK	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Dynamische Lungenfunktionsparameter:							
FEV1	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
AZQ	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
rel. 1-Sekundenkapazität	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
expirat. ↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
inspirat. ↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Atemfrequ.	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
AMV	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
R	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Blutgasanalyse:							
pH	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
akt. Bik.	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
pCO2	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
CO2	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
pO2	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Elektrodenlokalisation:		transvenös		epimyokardial		124 transvenös 50 epimyokardial	

SM-Therapie: Eine Patientin mit dystoper Trikuspidalklappe (Ebstein-Syndrom) und Vorhofseptumdefekt bedurfte nach der Klappenkorrektur und dem ASD-Verschluß des Schrittmachers; ein 22jähriger mit Kardiomyopathie entwickelte einen totalen AV-Block, wodurch die Implantationsindikation gegeben war; bei einem Patienten mit Koronarer Herzkrankheit (Koronarinsuffizienz) mußte im Rahmen der aorto-koronaren Bypass-Operation ein Herzschrittmacher gelegt werden. Zu den typischen Implantationsdiagnosen gehören demgegenüber das Sinusknotensyndrom und der primäre AV-Block III⁰.

Bei einem Vergleich der Lungenfunktionsparameter der vorhofgesteuerten SM-Träger mit denjenigen des gesamten Patientengutes ergibt sich nur bei wenigen Größen ein differierendes Verhalten.

Auffällig ist der erheblich stärkere Rückgang des bodyplethysmographisch ermittelten Residualvolumens. Das RV beträgt bei den sechs Fällen präoperativ 182,6 % des Sollwertes, postoperativ nurmehr 156,8 %. Trotzdem ist auch dieser zweite Wert noch höher, als die Vergleichszahlen des Gesamtkollektivs mit 149,4 % bzw. 147,6 %. Immerhin ist eine deutliche Normalisierungstendenz zu verzeichnen.

Ähnlich verhält es sich mit dem bronchialen Strömungswiderstand. Die Mittelwerte aller Patienten betragen für die Resistance 187,9 % und 185,0 % des Sollwertes. Bei den Fällen mit vorhofgesteuertem SM geht der Strömungswiderstand dagegen von 256,4 % bei der Voruntersuchung auf 132,2 % postoperativ zurück. Dieser starke Abfall der Resistance könnte durchaus eine spezifische Wirkung vorhofgesteuerter Geräte sein.

Zwei eindeutige Unterschiede zum übrigen Patientenkollektiv zeigt eine nähere Betrachtung der Blutgasanalyse im Hinblick auf den pH- und den pO₂-Wert.

Während der durchschnittliche pH-Wert für die 174 Fälle bei der Nachuntersuchung eine Tendenz zur Normalisierung aufweist, wandert er bei den vorhofgesteuerten SM-Patienten aus seinem Sollbereich heraus. So bewegen sich die Werte von dem gemittelten pH 7,39 auf den deutlich in Richtung Alkalose weisenden pH 7,44 zu.

Ordnet man die Blutgaswerte der sechs Patienten in das Diagramm der Abbildung 10 ein, zeigen sich - außer des eben erwähnten pH-Anstiegs - keine eindeutigen Trends ab. Die bei der Voruntersuchung in fünf Fällen vorgelegene leichte Azidose verschwindet postoperativ zugunsten teilweise kompensierter metabolischer und nicht kompensierter respiratorischer Alkalosen. In zwei Fällen hat sich nach SM-Operation der Säure-Basen-Status normalisiert.

Der Sauerstoffpartialdruck des arteriellen Blutes, der im Gesamtkollektiv geringfügig von 72,5 mmHg auf 73,3 mmHg ansteigt, verhält sich bei den Patienten mit vorhofgesteuertem SM konträr. Während bei der Erstuntersuchung 76,0 mmHg errechnet worden ist, ermittelt man bei der Nachuntersuchung nur noch 64,3 mmHg. Dieser Wert liegt recht deutlich unter den Ergebnissen des Gesamtuntersuchungsgutes.

Für eine sichere Aussage über die Qualitäten vorhofgesteuerter Geräte hinsichtlich ihres physiologischen Therapieansatzes erscheint die Zahl der Probanden zu gering und die Diagnosen zu weit gefächert. Doch kann angesichts der vorliegenden Resultate - der positiven Entwicklung des bronchialen Strömungswiderstandes einerseits und der eher nachteiligen Veränderung des pH- und pO_2 -Wertes andererseits - von einer zweifelsfrei besseren Versorgung unter Verwendung vorhofgesteuerter Herzschrittmacher bei unserer Patientengruppe nicht gesprochen werden.

IV. Diskussion der Ergebnisse

Der künstliche Herzschrittmacher kann auf die Lunge und ihre Funktionen nur über das Myokard als Bindeglied einwirken. So wie der SM mittels des Reizleitungssystems die Kontraktionsfolge des Herzmuskels, also die Schlagfrequenz, erhöht, so bewerkstelligt ein optimiertes Herzminutenvolumen eine günstigere Lungendurchblutung. Die höhere Lungenperfusion ist ihrerseits Voraussetzung für einen verbesserten Atemgasaustausch zwischen Alveolen und Gefäßsystem. Auf diesem Weg wird der Säure-Basen-Haushalt beeinflusst.

Im einzelnen ergeben sich folgende Überlegungen: Für die Veränderungen der statischen Lungenfunktionsgrößen ist die starke Abhängigkeit von den Untersuchungsbedingungen, insbesondere der Körperstellung zu beachten. Dies wurde schon 1934 von Björkman (4) festgestellt. Deshalb ist den lagebedingten Schwankungen der Lungenvolumina dadurch begegnet worden, daß alle Messungen am sitzenden Patienten durchgeführt worden sind.

So darf das schon beschriebene Untersuchungsergebnis - die VK-Reduzierung durch ERV- und IRV-Abnahme bei unverändertem AV - doch als wirkliche Veränderung bei Schrittmacherträgern gegenüber der Situation vor SM-Einbau bezeichnet werden. Eine Abhängigkeit dieses Resultates von der transvenösen oder epimyokardialen Elektrodenlokalisation ist ausgeschlossen worden. Der Grund für die Einschränkung der Vitalkapazität an ihren Rändern ist sicher zum Teil der physiologische Alterungsprozeß, aber möglicherweise auch die Abnahme einer bestehenden Lungenüberblähung. Auch die Verkleinerung des überhöhten Residualvolumens, das mit der Bodyplethysmographie bestimmt worden ist, spricht für eine Normalisierung des Luftgehaltes der Lunge. Freilich sind die Ver-

änderungen, die zwischen Vor- und Nachuntersuchung festgestellt worden sind, nicht immer in einem signifikanten Ausmaß.

Geht man davon aus, daß der prozentuale Anteil des Residualvolumens an der Totalkapazität mit zunehmendem Alter üblicherweise ansteigt und bei gesunden 60jährigen 35 % beträgt, so ist der Durchschnittswert von 50,0 % bzw. 51,4 % bei den SM-Patienten sicher pathologisch erhöht. Die Zunahme von 1,4 % innerhalb von drei Jahren ist dagegen völlig normal. So ergibt sich folgende Situation: Der Quotient RV/TK ist schon bei der Voruntersuchung erheblich vergrößert gewesen. Bei der Nachuntersuchung ist zu dem erhöhten Wert nur der altersbedingte, physiologische Zuwachs hinzugekommen. Eine krankhafte Veränderung liegt somit im Untersuchungszeitraum nicht vor (3).

Schon die oben beschriebenen Lungenfunktionsparameter lassen einen Rückgang obstruktiver Ventilationsstörungen vermuten. Dieser Verdacht erhärtet sich unter Zuhilfenahme dynamischer Lungenfunktionsgrößen: Sowohl die Normalisierung des Atemzeitquotienten als auch diejenige der relativen 1-Sekundenkapazitäten sprechen gegen eine Obstruktion. Dabei spielt es letztlich keine Rolle, ob der SM transvenös oder epi-myokardial gelegt worden ist. Zwar ist bei der Untergruppe mit intrakardialer Elektrodenlokalisation zunächst ein erhöhter AZQ gemessen worden, während die epikardiale SM-Gruppe normale Werte aufwies, doch bei der Nachuntersuchung ist der AZQ bei beiden Gruppen im Sollbereich. Die verlängerte Expirationszeit im Gesamtkollektiv, die z.B. durch Lungenemphysem, Asthma bronchiale oder Stauungslunge entstanden sein kann, reduziert sich also bei der Nachuntersuchung bis auf eine normale Dauer. Da nur die Stauungslunge unmittelbar kardial verursacht ist, ist es wahrscheinlich, daß präoperativ

die Lunge der Patienten durch die unregelmäßige oder langsame Herztätigkeit in ihrem venösen Abfluß behindert worden ist. Postoperativ erfolgt durch den Herzschrittmacher eine Regulierung und Transportverbesserung des zirkulierenden Blutvolumens. Dadurch wird die Stauung der Lunge abgebaut, eine Obstruktionsabnahme ist die Folge.

Gleichzeitig tritt auch eine Normalisierung der Blutgase ein, insbesondere des pH-Wertes, aber auch der Partialdrücke von Kohlensäure und Sauerstoff. Am deutlichsten nehmen die wohl hyperventilationsbedingten respiratorischen Alkalosen ab. Als mögliche Ursachen für eine respiratorische Alkalose zählt Geisler (14) auf: Hyperventilationstetanie, Herzinsuffizienz, Lungenembolie, Höhengaufenthalte und medikamentenbedingte Hyperventilation. Von diesen Gründen erscheint allein die Herzinsuffizienz als ein gemeinsames Merkmal aller zur SM-Implantation eingewiesenen Patienten denkbar zu sein. Die so durch Blutgasanalyse nachgewiesene suffizientere Herzmuskeltätigkeit deckt sich gut mit dem Ergebnis der Lungenfunktionsprüfung, der Abnahme der Lungenstauung.

Es weisen somit alle durchgeführten Tests darauf hin, daß der Herzschrittmacher über eine wirksamere Herzfunktion eine bessere Zirkulation im kleinen Kreislauf ermöglicht, woraus eine optimalere Ventilation resultiert. Diese Ventilationsverbesserung betrifft vor allem die Beseitigung obstruktiver Störungen, während restriktive nicht behoben werden. Im Gegenteil haben die Restriktionen in dem Untersuchungsgut sogar zugenommen. Die Ursachen für eine Einschränkung des funktionierenden Lungengewebes sind zahlreich. Doch ob man nun eine Lungenfibrose, Atelektasen, Pleuraverklebungen oder einen anderen Grund als Restriktionsauslöser angeben soll, bleibt unklar. Am ehesten kann pathogenetisch noch eine Lungenfibrose als Erklärung herangezogen werden: Die vor

allem präoperativ durch RV nachgewiesene Lungenüberblähung führt zu einer Reduzierung der Alveolaroberfläche im Sinne eines Emphysems. Wird postoperativ, wie oben beschrieben, der Luftgehalt der Lunge normalisiert, bleibt natürlich der bereits erfolgte Gewebeumbau bestehen und führt durch Fibrosierung der Alveolarsepten zur Restriktion.

Die Ventilationsveränderungen stehen im Gegensatz zum Gasaustauschverhalten der Lunge. So ist eine Entwicklung von Partialinsuffizienzen mit alveolärer Hyperventilation zu Globalinsuffizienzen und alveolärer Hypoventilation eingetreten. Als Hauptursache der globalen Gasaustauschinsuffizienz mit fallendem pO_2 und steigendem pCO_2 gilt die Atemwegsobstruktion. Seltener Ursachen sind zentrale und periphere nervöse Störungen, sowie auf der Ebene der Atemmuskulatur und der Thoraxwand liegende pathologische Prozesse.

Die Ventilationsprüfung hat eine postoperative Obstruktionsabnahme ergeben, während das aufgezeigte Gasaustauschverhalten eine Obstruktionszunahme als Ursache für die Globalinsuffizienzen nahelegt. Für diesen Gegensatz gibt es zwei Erklärungsmöglichkeiten. Zum einen ist es denkbar, daß für die präoperativ 10,9 % und bei der Nachuntersuchung 19,0 % Globalinsuffizienzen die Obstruktionsabnahme nicht zutrifft, die ja für das Gesamtkollektiv berechnet worden ist. Zum anderen scheint es durchaus möglich, daß für die SM-Patienten mit Globalinsuffizienz eine andere Ursache als die genannte Obstruktion zutreffen könnte. So ist es wahrscheinlich, daß durch die alters- und krankheitsbedingte Immobilität der Patienten ein allgemeiner körperlicher Abbau stattgefunden hat, der bei dieser Patientengruppe auch die Atemmuskulatur in Mitleidenschaft gezogen hat (2). Das verringerte Körpergewicht bei der Nachuntersuchung unterstützt diese These, soweit nicht die

Gewichtsreduktion durch Ödemausschwemmung bedingt ist. Für die Globalinsuffizienz ist somit ursächlich neben der Ventilationsstörung eine allmähliche Funktionseinbuße der Atemmuskulatur verantwortlich zu machen.

Zwar nehmen die Partialinsuffizienzen wie gezeigt ab, doch ist zu beachten, daß diese Gasaustauschstörung nach wie vor etwa die Hälfte der untersuchten Patienten betrifft. Der wahrscheinlichste Grund einer solchen Sauerstoffpartialdrucksenkung unter den Bedingungen eines normalen oder erniedrigten Kohlendioxidpartialdruckes liegt in einer zirkulatorisch-ventilatorisch verursachten Verteilungsstörung.

Bemerkenswert ist auch eine Veränderung des Säure-Basen-Haushaltes. Im Gegensatz zu der Abnahme der respiratorischen Alkalosen, die schon im Zusammenhang mit der Besserung von Herzinsuffizienz und Hyperventilation besprochen worden ist, steigen metabolische Alkalosen an. Sie erreichen bei der Nachuntersuchung, trotz einer allgemeinen Tendenz zum pH-Rückgang im Gesamtkollektiv, noch fast 20 %. Als Ursachen einer derartigen Störung des Säure-Basen-Haushaltes kommen bei den SM-Patienten praktisch nur Kaliummangelzustände per se oder als medikamentöse Wechselwirkungen in Betracht. Dabei steht die hypokaliämische Alkalose bei ausschwemmender Therapie mit Thiazid- und Schleifendiuretika (z.B. Furosemid) im Vordergrund. Dieser Aspekt der iatrogenen metabolischen Alkalose hat insbesondere Bedeutung für die allgemeine ambulante Betreuung der SM-Träger in der Praxis. Schon 1976 ist von der hiesigen Klinik in einer Veröffentlichung (24) darauf hingewiesen worden, daß Elektrolytstörungen auch eine SM-Dysfunktion verursachen können und deshalb auf einen normalen Serumelektrolytspiegel geachtet werden muß. Die Tatsache scheint gravierend, daß bei fast einem Fünftel aller nachuntersuchten Patienten, die

zum größten Teil in hausärztlicher Kontrolle stehen, eine solche metabolische Störung des Säure-Basen-Haushaltes festgestellt worden ist.

Der Vergleich der VK-Veränderung bei den vier Hauptindikationsgruppen "höhergradige AV-Blöcke", "Sinusknotensyndrom", "hypersensitives Carotissinussyndrom" und "Bradyarrhythmien" hat für Bradyarrhythmien eine Zunahme, für die anderen Diagnosen dagegen Abnahmen unterschiedlichen Ausmaßes ergeben. Die positive Entwicklung bei den Patienten mit bradykarden Herzrhythmusstörungen ist in erster Linie darauf zurückzuführen, daß die SM-Wirkung bei diesen Fällen am effizientesten zum Ausdruck kommt. Grund dafür mag die relativ geringe Beeinträchtigung des Reizleitungssystems sein, wodurch der SM das Myokard besser zu steuern vermag. Anders verhält es sich bei den zweit- und drittgradigen AV-Blöcken. Hier sinkt die Vitalkapazität auf den tiefsten Wert aller Gruppen ab und beträgt nur noch knapp 72 % des Sollwertes. Obwohl der Schrittmacher eine Gewähr dafür ist, daß die Herzschlagfrequenz eine gewisse untere Grenze von etwa 70/min nicht unterschreitet, kann er doch die VK-Reduzierung nicht verhindern. Offenbar ist die Auswirkung der kontraktionsanregenden SM-Impulse durch die anatomische Schädigung des Reizleitungssystems im Bereich des AV-Knotens und der Vorhof-Kammer-Ebene nicht ausreichend, um eine ähnlich gute Herzmuskelfunktion wie bei Bradyarrhythmien zu induzieren.

Fast genauso verhält es sich auch beim Syndrom des kranken Sinusknotens, nur daß in diesem Fall die Läsion den primären physiologischen Impulsgeber betrifft, während die Vorhof-Kammer-Überleitung intakt ist. Hier kann der elektrische Reiz des künstlichen Schrittmachers zwar ohne Schwierigkeiten die Vorhöfe retrograd erreichen - ein Vorteil gegenüber den AV-Blöcken -, doch ist beim Sick sinus

syndrome trotzdem die natürliche atrio-ventrikuläre Kontraktionsfolge schwer gestört.

Beim Krankheitsbild des hypersensitiven Carotissinus liegt die pathogenetische Ursache der Herzrhythmusstörungen in einem zu druckempfindlich reagierenden Carotissinus, der reflektorisch Blutdruck und Herzschlagfrequenz im Extremfall bis zur Asystolie senkt. Auch bei dieser Störung kann sich der elektrische SM nicht so günstig auswirken wie bei Bradyarrhythmien, weil seine Impulse gegen die depressorischen Einflüsse des Carotissinus arbeiten müssen. Zudem ist die Funktion des SM oft inhibiert, da er nur bei den bradykarden Anfällen des HSCSS in Aktion tritt. Diese Zeitabschnitte mit künstlicher Herzstimulation haben keinen nachweisbaren Effekt auf die VK-Abnahme der Patienten.

Um eine physiologischere Reizleitung im Herzen zu erzeugen, werden bei geeignet erscheinenden Patienten vorhofgesteuerte Schrittmacher implantiert. Dieser Gerätetyp ist in der Literatur häufig als ideale Behandlungsmöglichkeit vor allem jüngerer SM-Patienten betrachtet worden. Thalen und Braunwald (49) erwähnen beispielsweise, daß es unter dieser Therapie bei Ruhebedingungen zu einem Anstieg des Herzminutenvolumens von 20 - 30 % kommt, eine verbesserte körperliche Belastbarkeit ist die Folge. Andere Autoren sprechen von einem Anstieg zwischen 5 und 50 % (39).

Bei den sechs Patienten unseres Untersuchungsgutes, die einen vorhofgesteuerten Schrittmacher tragen, läßt sich nur zum Teil der positive Effekt dieser SM-Art nachweisen. Während sich vor allem Residualvolumen und bronchialer Strömungswiderstand durch ihren Rückgang stark verbessern, kommt es bei der Blutgasanalyse zu einer negativen Entwicklung. Der pH-Wert steigt bei der Nachuntersuchung an, es treten Alkalosen auf. Demgegenüber sinkt der Sauer-

stoffpartialdruck ab. Das sind alles Reaktionen, die vom Gesamtkollektiv mit Überwiegend rechtsventrikulär gesteuerten Schrittmachern abweichen. Eine endgültige Aussage über die Güte der vorhofgesteuerten SM-Systeme darf aus den Ergebnissen dieses kleinen Kollektivs jedoch nicht gezogen werden.

Ebenso können auch die Resultate der vier Patienten, bei denen die Sauerstoffaufnahme bestimmt worden ist, nur sehr begrenzt Hinweise auf die Veränderungen bei größeren Fallzahlen geben. Da alle vier Patienten zu Herzoperationen eingewiesen worden sind, scheint immerhin eine Aussage über die Unterschiede der Lungenfunktionen vor und nach Korrekturoperationen am Herzen mit sekundärer SM-Implantation möglich zu sein. Dabei ist zum einen der Anstieg des Sauerstoffverbrauchs und der O_2 -Ausnützung bemerkenswert, zum anderen der Übergang *n i c h t* kompensierter gemischter Alkalosen in *t e i l w e i s e* kompensierte respiratorische Alkalosen. Diese positiven Nach Untersuchungsergebnisse lassen vermuten, daß sich auch bei anderen, ähnlichen Operationen an Herzklappen oder Koronarien die beschriebenen Verbesserungen im Bereich der Lungenfunktion und der Blutgase einstellen.

V. Zusammenfassung

Aus den über 1700 Erlanger Herzschrittmacherpatienten der Jahre 1965 bis 1980 ist bei 174 Fällen eine Untersuchung der statischen und dynamischen Lungenfunktionsparameter, sowie der arteriellen Blutgase durchgeführt worden. Dabei ist jeder Patient vor der SM-Implantation und im Durchschnitt drei Jahre danach ein zweites Mal untersucht worden.

Mit Hilfe der Lungenvolumina hat sich nachweisen lassen, daß eine präoperative Lungenstauung im Verlauf der SM-Therapie abgebaut wird. Auch die obstruktiven Ventilationsstörungen nehmen ab. Als Ursache wird dafür die schrittmacherbedingte Besserung der vorher bestandenen Herzinsuffizienz angeführt. Für dieses Geschehen sprechen auch die Veränderungen des Säure-Basen-Haushaltes. Die wirksamere Herz-tätigkeit geht einher mit einer Senkung des hyper-ventilatorischen Atemverhaltens, wodurch sich der starke Rückgang der zunächst bestandenen respiratorischen Alkalosen erklärt. Demgegenüber kommt es zu einem beachtlichen Anstieg der metabolischen Alkalosen, deren Ursache in einer hypokaliämischen Elektrolytstörung vermutet wird.

Der VK- und der FEV_1 -Abfall sprechen zusammen mit der unveränderten relativen 1-Sekundenkapazität für eine zunehmende Restriktion funktionellen Lungengewebes bei der Nachuntersuchung.

Die Einschränkung der Vitalkapazität erfolgt von ihren Randbereichen her, betrifft also nicht das Atemzugvolumen, sondern in- und expiratorisches Reservevolumen. Dies gilt unabhängig davon, ob der Schrittmacher transvenös oder epi-myokardial implantiert worden ist. Eine gewisse Abhängigkeit von der Elektrodenlokalisation zeigt hingegen der Atemzeitquotient, der sich bei transvenöser Elektrodenlage stärker normalisiert, als bei epikardialen Fällen.

Es konnte gezeigt werden, daß bei den Überwiegenden Diagnosen, die zur SM-Implantation führen - AV-Blöcke, Sinusknotensyndrom, hypersensitives Carotissinussyndrom -, eine Vitalkapazitätsabnahme nicht verhindert werden kann, außer bei Bradyarrhythmien, die postoperativ mit einer vergrößerten Vitalkapazität einhergehen.

Die Untersuchung an sechs Patienten mit vorhofgesteuerten Schrittmachersystemen hat bei der Lungenfunktionsprüfung Verbesserungen, bei der Blutgasanalyse dagegen Verschlechterungen ergeben. Dies äußert sich in einer verminderten Lungenüberblähung mit gesenktem bronchialem Strömungswiderstand und einer verstärkten alkalotischen Stoffwechsellage mit reduziertem Sauerstoffpartialdruck.

Die Sauerstoffaufnahme hat nur bei vier herzoperierten Patienten überprüft werden können. Es zeigt sich bei drei Fällen nach der Korrekturoperation am Herzen und der SM-Implantation eine Erhöhung des O_2 -Verbrauches. Außerdem hat sich unter dieser Therapie die Sauerstoffausnützung der Patienten erheblich vergrößert.

Insgesamt hat die Auswertung zeigen können, daß eine Schrittmacherimplantation sowohl die Lungenfunktionsgrößen als auch die Blutgase charakteristisch beeinflusst, wobei das Ausmaß der Veränderungen von den zugrundeliegenden Herzrhythmusstörungen abhängt. Demgegenüber ist die Art der Elektrodenlokalisation nur von geringerer prognostischer Bedeutung.

Zusammenstellung der verwendeten Signifikanztests

Um nachzuweisen, ob die Veränderungen der gemessenen Größen bei Vor- und Nachuntersuchung statistisch signifikant sind, wurden T-Tests für abhängige Stichproben durchgeführt. Die Freiheitsgrade entsprachen dabei stets den um eins verminderten Fallzahlen. Mit diesen Berechnungen konnte gezeigt werden, ob sich zwei Stichprobenmittelwerte signifikant voneinander unterscheiden (32). Als Signifikanzniveau wurde $\alpha = 0,05$ gewählt; das heißt, daß bei einer vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % eine Änderung dann als signifikant zu bewerten ist, wenn der Test unter der Spalte "2-Tail Prob." (zweiseitige Überschreitungswahrscheinlichkeit) einen Wert kleiner oder gleich 0,050 ergibt.

Variable	Number of Cases	Mean	Standard Deviation	Separate Variance Estimate T-Value / 2-Tail Prob.	
1. Änderung der Reserveluft ERV in Bezug auf den jeweiligen Sollwert					
VHERV	174	72,24	33,926	3,71	0,000 →signifikant
NHERV		63,28	34,692		
2. Änderung der Vitalkapazität VK in Bezug auf den jeweiligen Sollwert (Spirometrie)					
AVHVK	174	78,15	16,332	3,76	0,000 →signifikant
ANHVK		74,11	17,364		
3. Änderung der Vitalkapazität VK in Bezug auf den jeweiligen Sollwert (Bodyplethysmographie)					
BVHVK	174	77,00	17,411	0,34	0,734 → nicht signifikant
BNHVK		76,53	20,163		
4. Änderung des Atemvolumens AV					
VAV	159	488,8	171,025	0,29	0,772 → nicht signifikant
NAV		484,8	183,271		
5. Änderung des Residualvolumens RV in Bezug auf den jeweiligen Sollwert					
VHRV	174	149,43	43,036	0,57	0,572 → nicht signifikant
NHRV		147,59	45,310		

Variable	Number of Cases	Mean	Standard Deviation	Separate Variance Estimate T-Value / 2-Tail Prob.	
6. Änderung der Totalkapazität TK in Bezug auf den jeweiligen Sollwert					
VHTK	173	101,00	17,415	0,24	0,812 → nicht
NHTK		100,67	17,966		signifikant
7. Änderung des Atemzeitquotienten AZQ					
VAZQ	173	1,40	0,365	2,75	0,007 → signifikant
NAZQ		1,32	0,289		
8. Änderung der Atemfrequenz f					
VFREQ	174	17,39	4,134	-1,25	0,213 → nicht
NFREQ		17,73	4,029		signifikant
9. Änderung des Atemzeitvolumens AMV in Bezug auf den jeweiligen Sollwert					
VHAMV	174	128,07	54,779	-0,97	0,331 → nicht
NHAMV		132,94	54,325		signifikant
10. Änderung der relativen expiratorischen 1-Sekundenkapazität					
VTIFEDIF	173	-0,91	11,582	-1,12	0,264 → nicht
NTIFEDIF		0,08	10,024		signifikant
11. Änderung der relativen inspiratorischen 1-Sekundenkapazität					
VTIFIDIF	169	6,82	13,294	-0,99	0,325 → nicht
NTIFIDIF		7,91	12,925		signifikant
12. Änderung des absoluten expiratorischen 1-Sekundenwertes					
VP1SECEX	174	2124,3	727,944	4,94	0,000 → signifikant
NP1SECEX		1952,7	681,940		
13. Änderung des Strömungswiderstandes R in Bezug auf den jeweiligen Sollwert					
VHR	171	187,90	86,232	0,42	0,677 → nicht
NHR		185,04	80,193		signifikant
14. pCO ₂ -Wert-Änderung					
VPCO2	173	36,03	5,029	-6,71	0,000 → signifikant
NPCO2		38,91	3,986		
15. pO ₂ -Wert-Änderung					
VP02	174	72,49	9,596	-0,84	0,405 → nicht
NPO2		73,34	10,349		signifikant

Variable	Number of Cases	Mean	Standard Deviation	Separate T-Value	Variance Estimate / 2-Tail Prob.
16. pH-Wert-Änderung					
VPH	173	7,431	0,049	3,55	0,000 →signifikant
NPH		7,414	0,048		
17. Änderung des aktuellen Bikarbonates					
VACBIC	174	23,83	4,066	-2,88	0,004 →signifikant
NACBIC		24,90	3,490		
18. CO ₂ -Wert-Änderung					
VCO ₂	174	25,02	4,103	-2,94	0,004 →signifikant
NCO ₂		26,12	3,713		
19. Sollwertbezogene VK-Änderung (Spirometrie) bei transvenöser SM-Implantation					
AVHVK	124	79,02	16,484	3,21	0,002 →signifikant
ANHVK		75,13	17,694		
20. Änderung des Atemzeitquotienten AZQ bei transvenöser SM-Implantation					
VAZQ	123	1,44	0,392	2,90	0,004 →signifikant
NAZQ		1,33	0,275		
21. Sollwertbezogene VK-Änderung (Spirometrie) bei epi-myokardialer SM-Implantation					
AVHVK	50	75,98	15,903	1,97	0,054 →nicht signifikant
ANHVK		71,59	16,418		
22. Änderung des Atemzeitquotienten AZQ bei epi-myokardialer SM-Implantation					
VAZQ	50	1,31	0,267	0,50	0,617 →nicht signifikant
NAZQ		1,28	0,320		
23. Sollwertbezogene VK-Änderung (Spirometrie) bei Patienten mit zweit- und drittgradigen AV-Blöcken					
AVHVK	30	75,48	16,625	1,35	0,188 →nicht signifikant
ANHVK		71,89	18,602		
24. Sollwertbezogene VK-Änderung (Spirometrie) bei Patienten mit Sinusknotensyndrom					
AVHVK	50	84,32	16,364	3,98	0,000 →signifikant
ANHVK		76,03	16,755		
25. Sollwertbezogene VK-Änderung (Spirometrie) bei Patienten mit Bradyarrhythmien					
AVHVK	25	75,22	16,441	-0,25	0,806 →nicht signifikant
ANHVK		76,12	18,558		

Variable	Number of Cases	Mean	Standard Deviation	Separate Variance Estimate T-Value / 2-Tail Prob.
----------	--------------------	------	-----------------------	--

26. Sollwertbezogene VK-Änderung (Spirometrie) bei
Patienten mit Carotissinussyndrom HCSS

AVHVK	44	77,29	15,921	2,07 0,045 → signifikant
ANHVK		73,39	17,619	

Literaturverzeichnis

1. AMREIN R., KELLER R., JOOS H., HERZOG H.
Neue Normalwerte für die Lungenfunktionsprüfung
mit der Ganzkörperplethysmographie
Dtsch. med. Wschr. 94 (1969) 1785 - 1793
2. ANDERHUB H.P., KELLER R., HERZOG H.
Spirometrische Untersuchung der forcierten Vital-
kapazität, Sekundenkapazität und maximalen Atem-
stromstärke bei 13 798 Personen
Dtsch. med. Wschr. 99 (1974) 33 - 38
3. BARTELS H., BÜCHERL E., HERTZ C.W., RODEWALD G.,
SCHWAB M.
Lungenfunktionsprüfungen. Methoden und Beispiele
klinischer Anwendung
Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer (1959)
4. BJÖRKMAN S.
Aus der Medizinischen Klinik II des Serafimer-
lazarets, Stockholm. Bronchospirometrie. Eine
klinische Methode, die Funktion der menschlichen
Lungen getrennt und gleichzeitig zu untersuchen
Stockholm (1934), (Acta medica Scandinavica
Suppl. 56)
5. BRAIMBRIDGE M.V., GHADIALI P.E.
Post-operative Cardiac Care
Oxford: Blackwell Scientific Publications (1965)
6. BRAUER , KNIPPING H.W.
Atemäquivalent, in: Reallexikon der Medizin,
S. A 342
München, Berlin, Wien: Urban u. Schwarzenberg
(1966)
7. BÜHLMANN A.A., ROSSIER P.H.
Klinische Pathophysiologie der Atmung
Berlin, Heidelberg, New York: Springer (1970)
8. CHERNIACK R.M.
Lungenfunktionsprüfung
Stuttgart, New York: Schattauer (1979)

9. COMROE J.H., FORSTER R.E., DUBOIS A.B., BRISCOE W.A., CARLSEN E.
Die Lunge - Klinische Physiologie und Lungenfunktionsprüfungen, 2. Aufl.
Stuttgart: Schattauer (1968)
10. DUNNING A.J.
Indikationen für künstliche Herzstimulation
Pacemaker Digest 4, Lehmann (1975) 7
11. EDHAG O.
Über den heutigen Stand der Therapie mit Herzschrittmachern
Electro medica (1978) Sonderdruck
12. EHRNER L.
Lung compliance and respiratory resistance, determined from time-marked esophageal pressure-tidal volume curves and their relations to some other tests of lung function. A clinical and pathophysiological study of 148 cases with various chest diseases
Stockholm (1960), (Acta medica Scandinavica Suppl. 353)
13. EIMER H.-H., WITTE J.
Zur Leistungsbreite bei Patienten mit festfrequentem Herzschrittmacher unter Berücksichtigung der Hämodynamik, arteriovenöser Sauerstoffdifferenz und Lungenfunktion
Z. Kardiol. 63 (1974) 1099
14. GEISLER L.
Lungenfunktion
Fortschr. Med. 83 (1965) Nr. 19, 20, 22, 23
15. GOLLING F.-R., LEUTSCHAFT R.
Lebenserwartung mit Herzschrittmacher
Aktuel. Gerontol. 9 (1979) 111
16. GROSSER K.D.
Diagnostik und Therapie bradykarder Rhythmusstörungen
Intensivmed. 14, Suppl. II (1977) 32 - 50

17. HAGER W., SELING A.
 Praxis der Schrittmachertherapie, 2. neubearb. Aufl.
 Stuttgart, New York: Schattauer (1978)
18. KNIPPING H.W., BOLD W., VALENTIN H.W., VENRATH H.
 Untersuchung und Beurteilung des Herzkranken
 Stuttgart: Enke (1955)
19. KOMMISSION DER DTSCH. GES. INN. MED. ZUR NORMUNG
 DER NOMENKLATUR VON ATMUNGSGRÖSSEN
 Symbole in der Atmungsphysiologie
 Zbl. inn. Med. 192 (1958) 1
20. KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT FÜR
 KOHLE UND STAHL
 1-Sekundenkapazität, in: Ulmer, Reichel, Nolte:
 Die Lungenfunktion, 2. Überarb. u. erweiterte Aufl.,
 S. 189
 Stuttgart: Thieme (1976)
21. KOSTIAINEN S.
 Transvenous and transthoracic permanent cardiac
 pacing. A comparative follow-up study of 220
 patients
 Helsinki (1975), (Annals of clinical research
 Suppl. 16)
22. KREUZER J., ELERT O., SATTER P.
 Der Lithium-Herzschrittmacher, eine Alternative
 zum Atom-Schrittmacher ?
 Pacemaker Digest 3, Lehmann (1974) 71
23. LEHMANN H.-U.
 Schrittmacher-Behandlung bei bradykarden Herz-
 rhythmusstörungen
 Münch. med. Wschr. 124 (1982) 364 - 372
24. LEUTSCHAFT R.
 Ambulante Überwachung des Schrittmacher-
 Patienten
 Fortschr. Med. 94 (1976) 436 - 440
25. LEUTSCHAFT R., HABICH G., PREISS G.
 Der Herzschrittmacherpatient und seine Kontrolle
 beim Internisten oder Hausarzt
 Vortrag in Bischofsgrün (1981)

26. LORENZ B.
Herzschrittmacher - Indikation, Kontrolle
Dtsch. Arzt 23 (1980) 32 - 44
27. LÜDERITZ B.
Elektrische Stimulation des Herzens - Diagnostik
und Therapie kardialer Rhythmusstörungen
Berlin, Heidelberg, New York: Springer (1979)
28. LÜDERITZ B.
Elektrotherapie bedrohlicher Herzrhythmusstö-
rungen
diagnostik 10 (1977) 49 - 55
29. LÜDERITZ B., MÜLLER-SEYDLITZ P.
Herz-Schrittmacher und ärztliche Praxis
Mkurse ärztl. Fortbild. 4 (1976) Sonderdruck
30. Lungenfunktionsprüfungen
Biberach a. d. Riß: Dr. Karl Thomae GmbH (1966)
31. MEISNER H.
Zum Thema: Herzschrittmacher - Indikationen und
Technik. Cardiac pacing - Indications and technique.
Schrittmachertherapie 1978
Herz 3 (1978) 145 - 147
32. NIE N.H., HULL C.H.
Statistik-Programm-System für die Sozialwissen-
schaften SPSS 8, 3. Aufl.
Stuttgart, New York: Gustav Fischer (1980)
33. NOLTE D.
Der bronchiale Strömungswiderstand im Kindesalter
Klin. Wschr. 46 (1968) 783
34. OTIS A.B., FENN W.O., RAHN H.
Mechanics of breathing in man
J. appl. Physiol. 2 (1949/50) 592, in: Ulmer,
Reichel, Nolte: Die Lungenfunktion, 2. Überarb.
u. erweiterte Aufl., S. 15
Stuttgart: Thieme (1976)

35. PETRI H., RUDOLPH W.
Indikationen zur permanenten Schrittmachertherapie
bei bradykarden Rhythmusstörungen
Herz 3 (1978) 148 - 157
36. PSCHYREMBEL W.
Atemäquivalent, in: Klinisches Wörterbuch, 253.
Aufl., S. 93
Berlin, New York: de Gruyter (1977)
37. ROSENKRANZ K.-A.
Der Herzschrittmacher in der Praxis
Erlangen: peri med Straube (1975)
38. ROY P.R., SOWTON E.
Clinical experience with the Elma Vario Pacemaker
Br. med. J. (14 December 1974) 637 - 640
39. SCHALDACH M., FURMAN S., HEIN F., THULL R.
Advances in Pacemaker Technology
Berlin, Heidelberg, New York: Springer (1975)
40. SCHAUDIG A., LUCAS M., MEISNER H., PACK S.
Heutiger Stand der permanenten Schrittmacher-
therapie
Chirurg 5 (1971) 193
41. SCHICK J., DAGEFÖRDE J., MANSOUR A., WESTER H.A.
Permanente Herzschrittmacherversorgung mittels
perkutaner Implantationstechnik
Herz/Kreisl. 10 (1978) 489
42. SCHLITTER J.G., HUTH W., RAFISADEH F., WELTER F.
Elektrischer Herzschrittmacher: Indikation zur
Implantation und die elektrokardiographische
Aussage in der späteren Überwachung
Pacemaker Digest 5, Lehmann (1975) 61
43. SCHMID P., KLEIN W.W., HARPF H., KLEIN G.
Körperliche Belastbarkeit von Herzschritt-
macherträgern
Z. Kardiologie 68 (1979) 763

44. SCHMIDT R.F., THEWS G.
 Physiologie des Menschen, 19. Überarb. Aufl.
 Berlin, Heidelberg, New York: Springer (1977)
45. SIEGENTHALER W.
 Klinische Pathophysiologie
 Stuttgart: Thieme (1970)
46. SIGGAARD-ANDERSEN O.
 The Acid-Base Status of the blood, 2nd ed.
 Copenhagen: Munksgaard (1964)
47. STAUCH M.
 Die Behandlung bradykarder Herzrhythmusstörungen
 mit implantierbaren Schrittmachern - Indikationen
 und Ergebnisse
 Electro medica 4 (1971) Sonderdruck
48. THALEN H.J.
 Schrittmacher gestern und heute
 Pacemaker Digest 1, Lehmann (1973) 11
49. THALEN H.J.
 The Artificial Cardiac Pacemaker - its history,
 development and clinical application
 Assen: Van Gorcum, Prakke & Prakke (1969)
50. THEWS G.
 Grundlagen der normalen und pathologischen Physiologie
 der Atmung, in: Begutachtung von Lungen-
 funktionsstörungen. Colloquium am 5. und 6. April
 1968 in Malente/Holst., hg. Carl Walter Hertz
 Stuttgart: Thieme (1968)
51. ULMER W.T., REICHEL G.
 Untersuchungen über die Altersabhängigkeit der
 alveolären und arteriellen Sauerstoff- und
 Kohlensäuredrucke
 Klin. Wschr. 41 (1963) 1
52. ULMER W.T., REICHEL G., NOLTE D.
 Die Lungenfunktion. Physiologie und Pathophysiologie,
 Methodik. 2. Überarb. u. erweiterte Aufl.
 Stuttgart: Thieme (1976)

53. ULMER W.T., REIF E.

Die obstruktiven Erkrankungen der Atemwege.
Klinische Bedeutung und objektiver Nachweis mit
der Ganzkörperplethysmographie

Dtsch. med. Wschr. 90 (1965) 1803

54. WESTERMANN K.W.

Schrittmacher - wann, welche und wie sind sie
zu überwachen ?

Med. Welt 28 (N.F.) (1977) 684 - 689

55. WILHELMS E., FLACHSBART F.

Ist die latente Linksherzinsuffizienz durch
Messung der Lungenfunktion diagnostizierbar ?

Atemw.-Lungenkrkh. 8 (1982) 79 - 82

56. ZETKIN , SCHALDACH H.

Atemäquivalent, in: Wörterbuch der Medizin, hg.
Herbert Schaldach, 6. Aufl., I 121

Stuttgart: Thieme (1973)

Lebenslauf

Am 1. Juni 1958 wurde ich, Hanspeter Kubin, in Erlangen als zweites Kind des Arztehepaares Dr. Oskar und Dr. Elfriede Kubin, geb. Weichselfelder, geboren.

Nach Abschluß der vier Grundschulklassen in der Hermann-Hedenus-Schule Erlangen (1964-1968) trat ich in das Albert-Schweitzer-Gymnasium Erlangen (mathematisch-naturwissenschaftlicher Zweig) über, an dem ich am 24. Juni 1977 das Abitur ablegte.

Am 13. September 1977 immatrikulierte ich mich an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg für das Fach Medizin. Die Ärztliche Vorprüfung bestand ich am 28. August 1979.

Am 9. November 1983 legte ich die Ärztliche Prüfung mit Erfolg ab.

